



Beatriz Duque Barbosa

Licenciada em Bioquímica

Revalidação de parâmetros operacionais em túnel de congelação

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia
e Segurança Alimentar

Orientador: Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz
Fernando, Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Maria Isabel de Jesus Oliveira,
Técnica de Qualidade

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Benilde Simões Mendes, FCT/UNL

Arguente: Doutor Vítor Gomes Lauriano de Souza, FCT/UNL

Vogal: Prof. Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando, FCT/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2018

“Revalidação de parâmetros operacionais em túnel de congelação” © Beatriz Duque Barbosa, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Professora Doutora Ana Luísa Fernando por me ter proporcionado a oportunidade de realização de estágio numa empresa do ramo alimentar, e sem a qual o desenvolvimento deste trabalho teria sido impossível. Bem haja Professora, pela sua dedicação e boa disposição ao longo de todo o processo.

À Eng^a Penélope Ramos pela oportunidade de estágio e à Eng^a Isabel Oliveira pela dedicação e ajuda prestada durante o período de estágio e muito depois disso, sempre disponíveis e tolerantes ao processo de aprendizagem de quem ainda tem muito para aprender, e ainda à Eng^a Joana Machado e Eng^a Inês Rafael, pela ajuda no desenvolvimento de trabalho de campo.

A todas as pessoas que se cruzaram comigo na empresa, e que de certa forma me fizeram sentir integrada e que facilitaram o processo de aprendizagem.

Aos meus pais, por possibilitarem que todo o meu percurso académico se realizasse sem sobressaltos, e por acreditarem que seria capaz, mesmo quando eu duvidei.

A todos os meus amigos que ouviram desabafos e que perderam o seu tempo para me ajudar a superar a dificuldade de se escrever uma tese, mesmo quando todos eles se encontravam a passar pelo mesmo.

À minha colega de estágio, Ana Rita, pela paciência, espírito de entreajuda e amizade que demonstrou nos últimos meses.

Gostaria ainda de agradecer a toda a minha família que sempre esteve lá e se preocupou, e que mesmo quando eu duvidava, incentivavam e sabiam que ia dar certo.

RESUMO

O processo de congelação é uma tecnologia fundamental que constitui uma das formas mais frequentes de conservação de produtos a longo prazo. Este processo é um dos mais frequentemente aplicado, quando se pretende conservar um alimento por um período de tempo mais extenso.

Aplicar a congelação a produtos requer cuidados que deverão ser seguidos de forma rigorosa para que os produtos mantenham as suas características originais num prazo de vida útil elevado. Desta forma, é responsabilidade das empresas de comércio de alimentos garantir que se estabelecem condições de operacionalidade que permitam efetuar o processo de congelação de modo a manter as características dos produtos, e garantam que estes são seguros do ponto de vista alimentar.

O trabalho desenvolvido numa empresa do ramo alimentar consistiu no acompanhamento de uma larga gama de produtos congelados por dois processos distintos: congelação em túnel de ar forçado e congelação em túnel espiral.

Para ambos os métodos, a temperatura dos produtos e os tempos de congelação foram acompanhados, de forma a parametrizar os valores obtidos, estabelecendo margens de segurança que permitam assegurar a conclusão do processo de congelação e a qualidade e a segurança alimentar dos produtos congelados.

O procedimento consistiu na medição de temperaturas através da utilização de um termómetro (com sonda de perfuração) por infravermelhos, para os artigos congelados em túnel em espiral, e por uma sonda de perfuração, em contacto com o centro térmico do produto, para a congelação em túnel de ar forçado. O estudo englobou o acompanhamento de artigos de várias dimensões/calibres, de forma a compreender o comportamento de um elevado número de gramagens congeladas na empresa.

O estudo efetuado identificou o tempo necessário à permanência dos produtos em túnel de forma a garantir a congelação dos produtos. Os resultados demonstraram que é possível uma redução do tempo de permanência dos artigos em túnel de congelação em espiral, permitindo uma maior poupança de energia e rentabilização do equipamento. A análise dos resultados identificou também tempos de congelação para artigos que não possuíam uma parametrização deste tempo em túnel de ar forçado, tendo-se identificado medidas que podem conduzir a uma maior redução do tempo de passagem no túnel.

Os tempos de permanência dos produtos nos túneis foram alterados na instrução da empresa, após validação por confrontação de dados e literatura.

Foram elaboradas sugestões que podem conduzir à diminuição de tempo no processo de congelação por ar forçado.

TERMOS CHAVE: CONGELAÇÃO, TÚNEL ESPIRAL, TÚNEL DE AR FORÇADO, VALIDAÇÃO, CARNE

ABSTRACT

The freezing process is a fundamental technology that constitutes one of the most frequent forms of long-term product conservation. This process is one of the most frequently applied, when it is intended to conserve a food for a longer period of time.

Applying freezing to products requires care that must be followed rigorously so that the products retain their original characteristics within a high shelf life. In this way, it is the responsibility of food trade companies to ensure that conditions of operation are established that allow the freezing process to maintain the characteristics of the products, and ensure that food safety is guaranteed.

The work developed in a food company consisted of monitoring a wide range of products frozen by two different processes: air blast freezing and spiral freezing (IQF method).

For both methods, the temperature of the products and the freezing times were monitored in order to parameterize the values obtained, establishing safety margins to ensure the completion of the freezing process and the food quality and safety from frozen products.

The procedure consisted of measuring temperatures through the use of an infrared thermometer (with drill probe), for spiral freezing articles, and by a drill rig, in contact with the thermal center of the product, for air blast freezing. The study included the follow-up of articles of various dimensions/gauges, in order to understand the behavior of a large number of frozen weights in the company.

The study identified the time required for the permanence of the products in the tunnel in order to ensure the freezing of the products. The results showed that it is possible to reduce the permanence time of the articles in the spiral freezing tunnel, allowing greater energy savings and the profitability of the equipment. The analysis of the results also identified freezing times for articles that did not have a parameterization of this time in the air blast freezing tunnel, having identified measures that could lead to a greater reduction of passage time in the tunnel.

The permanence time of the products in the tunnels was altered in the company's instruction, after validation by comparing data in literature.

Suggestions have been made that may lead to a decrease in time in the process of air blast freezing.

KEY WORDS: FREEZING, SPIRAL BLAST FREEZING, BLAST FREEZING TUNNEL, VALIDATION, MEAT

Índice Geral

I	
1.	Introdução 1
1.1.	A indústria alimentar 1
1.1.1.	A evolução e a atualidade da indústria alimentar 1
1.1.2.	Sistemas de gestão da segurança alimentar 2
1.2.	A carne e produtos cárneos 5
1.2.1.	Definição legal de carne e produtos cárneos 5
1.2.2.	Caracterização da carne 5
1.2.3.	Tempo de prateleira e processos de degradação da Carne 11
1.2.4.	Perigos químicos e biológicos na carne 14
1.3.	Congelação da carne e produtos cárneos como técnica de conservação 16
1.3.1.	Congelação por ar 21
1.3.2.	Parâmetros de congelação 25
1.4.	Objetivos do trabalho 27
2.	Materiais e métodos 28
2.3.	Empresa, indústria e respetivas instalações 28
2.1.1.	Piso 0 (zona de armazenamento e produção de congelados) 30
2.1.2.	Piso 1 (zona de produção e armazenamento de frescos e congelados) 31
2.2.	Materiais e equipamentos utilizados 35
2.2.1.	Túnel de congelação em espiral Frigoscandia Gyrocompact P42 35
2.2.2.	Túnel de congelação por ar forçado 40
2.2.3.	Medidores de temperatura 41
2.3.	Método de validação do túnel de congelação em espiral 43
2.4.	Método de validação do túnel de congelação por ar forçado 45
2.5.	Trabalho desenvolvido na empresa 47
3.	Resultados e discussão 50
3.1.	Resultados relativos aos dados recolhidos para os artigos congelados em túnel de congelação em espiral 50

3.1.1.	Hambúrguer	52
3.1.1.1.	Hambúrguer bovino 80 gramas	53
3.1.1.2.	Hambúrguer bovino 100 gramas	56
3.1.1.3.	Hambúrguer bovino 200 gramas	60
3.1.1.4.	Hambúrguer suíno 100 gramas.....	64
3.1.2.	Bifanas extra finas.....	67
3.2.	Resultados recolhidos para a congelação por túnel de ar forçado.....	73
3.2.1.	Cubos de porco congelados	74
3.2.2.	Carne para picar congelada	77
3.2.3.	Carne de bovino/novilho para guisar congelada	79
3.3.	Validação.....	81
4.	Conclusão e sugestões de melhoria	89
5.	Referências bibliográficas.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.-Porção edível de carne de bovino (adaptado). (Fonte: https://www.oda.state.ok.us/food/fs-cowweight.pdf).....	5
Figura 1.2.-Formas reduzidas e oxidadas da mioglobina em carne fresca (adaptado). (Fonte: Suman e Joseph, 2013).	8
Figura 1.3.-Fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam o tempo de prateleira da carne (adaptado). (Subramaniam e Wareing, 2016).....	10
Figura 1.4.- Reação de oxidação (iniciação e propagação) (Rashed et al., 2015).....	12
Figura 1.5.- Terminação e formação de produtos estáveis (oxidação lipídica) (Rashed et al., 2015).	12
Figura 1.6.- Relação entre tamanho dos cristais de gelo e velocidade de congelação (adaptado) Fonte: (Leitão, 2015)..	17
Figura 1.7.- Processo típico de redução de temperatura durante congelação. (Fonte: Cerros, sem data).....	18
Figura 1.8.- Representação esquemática de um túnel de congelação por ar forçado. (Fonte: https://www.dawsonrentals.co/blast-chiller).....	22
Figura 1.9.- . Representação esquemática de um túnel de congelação em espiral. (Fonte: https://www.exapro.com/frigoscandia-gyrocompactr-600-classic-new-p61024016/).....	23
Figura 2.1.-Esquema organizacional dos diferentes pisos da empresa – Filial de Lisboa.....	28
Figura 2.2.- Equipamento de proteção para temperaturas negativas e equipamento complementar.....	29
Figura 2.3.- Esquema da formatação de hambúrgueres e entrada no túnel de congelação em espiral (a figura não se encontra à escala).....	32
Figura 2.4.-Disposição dos hambúrgueres e bifanas na esteira, previamente à sua entrada no túnel de congelação (a figura não se encontra à escala).	32
Figura 2.5.-Esboço do funcionamento do túnel de congelação em espiral <i>Frigoscandia Gyrocompact</i> (a figura não se encontra à escala).	33
Figura 2.6.-Túnel de congelação <i>Frigoscandia Gyrocompact P42</i> (Fonte: adaptado do manual de instruções do equipamento).....	35
Figura 2.7.-Painel de controlo do túnel de congelação do piso 0.	39
Figura 2.8.-Esquema de funcionamento do túnel de congelação por ar forçado (a figura não se encontra à escala).	40
Figura 2.9.-Termómetro <i>HANNA Pronto Plus</i> , com leitura por infravermelhos e sonda de perfuração, utilizado nas medições de temperatura (Fonte: http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=647).....	40
Figura 2.10.-Sonda de temperatura <i>Testo 175T2</i> , com leitura por infravermelhos e sonda de penetração, utilizado nas medições de temperatura efetuadas. (Fonte: https://www.testo.com/pt-PT/).....	41

Figura 2.11.-Imagem do software <i>Testo Software Comfort Basic 5.0</i> , para programação da sonda de temperatura.	42
Figura 2.12.-Vista da esteira com hambúrgueres em distribuição (a figura não se encontra à escala).	43
Figura 2.13.-Posição da sonda relativamente (à esquerda) ao centro térmico do produto e (à direita) ao contacto com a embalagem contendo o produto para congelação (a figura não se encontra à escala).	45
Figura 2.14.-Posição do <i>datalogger</i> relativamente á caixa contendo o produto para congelação (a figura não se encontra à escala).	45
Figura 2.15.-Disposição da estante e das caixas de cartão contendo produto para congelação (a figura não se encontra à escala).	46
Figura 3.1.- Registo das temperaturas do artigo hambúrguer bovino 80 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 7 e 15 de março, e 3 de maio).....	52
Figura 3.2.- Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer bovino 80 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 7 de março, 15 de março e 3 de maio, onde Tar representa a temperatura do ar, T _{túnel} a temperatura do túnel e Limite temperatura as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).	54
Figura 3.3.- Registo das temperaturas do artigo hambúrguer bovino 100 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 10 e 19 de abril, e 5 de maio).....	55
Figura 3.4.- Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer bovino 100 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 10 de abril, 19 de abril e 8 de maio, onde Tar representa a temperatura do ar, T _{túnel} a temperatura do túnel e Limite temperatura as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).	57
Figura 3.5.- Registo das temperaturas do artigo hambúrguer bovino 200 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 7 de março, e 3 de abril).....	59
Figura 3.6.- Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer bovino 200 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 7 de março e 3 de abril), onde Tar representa a temperatura do ar, T _{túnel} a temperatura do túnel e limite temperatura as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).	61
Figura 3.7.- Comparação dos resultados (tempo) obtidos para a congelação dos artigos hambúrguer 80g, 100g e 200g bovino, face à temperatura do ar e do túnel.....	62
Figura 3.8.- Registo das temperaturas do artigo hambúrguer suíno 100 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 13, 26 e 27 de março).....	63
Figura 3.9.- Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer suíno 100 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 13,	

27 e 29 de março), onde Tar representa a temperatura do ar, T _{túnel} a temperatura do túnel e T _{limite} as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).....	65
Figura 3.10.- Comparação dos valores de tempo para congelação dos artigos hambúrguer bovino e suíno 100g, face à temperatura do ar e temperatura do túnel (°C).	66
Figura 3.11.- Registo das temperaturas do artigo bifanas finas extra em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 30 de janeiro, 5 de fevereiro, 14 de março, 11 de abril, 11 de maio e 21 de maio).....	67
Figura 3.12.- Registo das temperaturas do ar e do túnel durante o acompanhamento dos artigos bifanas finas extra, em função do tempo de permanência no túnel em espiral (onde Tar representa a temperatura do ar e T _{túnel} a temperatura do túnel e T _{limite} as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).....	70
Figura 3.13.- Variação da temperatura do artigo cubos de porco congelados, em congelação em túnel por ar forçado (26 de fevereiro).....	73
Figura 3.14.- Variação da temperatura do artigo cubos congelados em congelação em túnel por ar forçado (para o dia 21 de fevereiro).....	74
Figura 3.15.- Variação da temperatura do artigo cubos congelados em congelação em túnel por ar forçado (no dia 4 de maio).	75
Figura 3.16.- Temperatura do artigo carne para picar congelada – caixa de aproximadamente 3kg, (com uma variação não superior a 250 gramas) em túnel de congelação por ar forçado.....	76
Figura 3.17.- Variação da temperatura do artigo carne para picar congelada – caixa 2,750kg em congelação em túnel por ar forçado.....	77
Figura 3.18.- Variação da temperatura do artigo carne de bovino para congelado em congelação em túnel por ar forçado (22 de maio).....	78
Figura 3.19.- Variação da temperatura do artigo carne para guisar novilho congelado em congelação em túnel por ar forçado (28 de fevereiro).	79
Figura 3.20.- Curvas de congelação para produtos embalados em caixas de cartão e não embalados num túnel de congelação por ar forçado. (Fonte: Dempsey e Basal, 2012).....	86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1.-Conteúdo em água, proteína, gordura e cinza (em percentagem) e calorias (valores aproximados) para carne crua. (Fonte: FAO (2018)).....	5
Tabela 1.2.-Velocidades de congelação típicas em função do tipo de congelação (adaptada). Fonte: Leitão,2012).....	18
Tabela 1.3 -Métodos de congelação e diferenças de características (adaptada). (Fonte: Valentas <i>et al</i> , 1997).....	20
Tabela 2.1.-Especificações do túnel de congelação <i>Frigoscandia Gyrocompact P42</i> (adaptado do manual do equipamento).....	36
Tabela 2.2.-Especificações do manual do equipamento <i>Frigoscandia Gyrocompact P42</i> relativamente à congelação de hambúrgueres de 75 gramas (Fonte: adaptado do manual do equipamento).	37
Tabela 2.3.-Produtos, tempos e temperaturas estipulados pela instrução da empresa, para a congelação em túnel de congelação espiral (adaptado da instrução da empresa).....	38
Tabela 2.4.- Técnicas de congelação e técnicas de medição de temperaturas utilizadas, respetivamente, para a congelação em túnel por ar forçado e em túnel em espiral.....	47
Tabela 3.1.- Número de medições de temperatura efetuadas à temperatura dos artigos, por gramagem.	50
Tabela 3.2.- Tabela resumo com os valores de temperatura de entrada e de saída do artigo do túnel, tempo de congelação, média do tempo estimado para a congelação e média das extrapolações efetuadas para - 18°C.....	53
Tabela 3.3.- Tabela resumo com os valores de temperatura de entrada e de saída do artigo do túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C.....	56
Tabela 3.4.- Tabela resumo com os valores de temperatura de entrada e de saída do artigo hambúrguer de 200g bovino no túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para - 18°C.....	60
Tabela 3.5.- Tabela resumo dos valores de temperatura de entrada e de saída do artigo hambúrguer de 100g suíno no túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C.	64
Tabela 3.6.- Tabela resumo dos valores de temperatura de entrada e de saída do artigo bifanas funas extra no túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C.....	69
Tabela 3.7.- Número de acompanhamentos efetuados por grupo de artigo, em artigos congelados em túnel de ar forçado.	72

Tabela 3.8.- Variação do tempo de congelação face à densidade e área de contacto com o produto.	77
Tabela 3.9.- Valores de tempo e temperatura e estipulados na instrução da empresa antes do processo de validação, e valores de tempo e temperatura estipulados posteriormente à realização dos ensaios, para o túnel de congelação em espiral.	81
Tabela 3.10.- Tabela com valores de tempo e temperatura validados para o funcionamento do túnel em espiral.	83
Tabela 3.11.- Tempo de permanência para congelação em túnel de ar forçado em função do tipo de artigo.....	85

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP – Adenosina difosfato

AVMA – American Veterinary Medical Association (Associação Americana de Medicina Veterinária)

ATP – Adenosina trifosfato

DFD – Dark, firm and dry (em português dura firme e seca)

E.coli – *Eschericia coli*

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das nações Unidas para a Agricultura)

HACCP – Hazzard Analysis and Critical Control (em português, Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo)

IQF – Individual quick freezing (em português congelação rápida individual)

MDA – Malondialdeido

NaCl – Cloreto de sódio

NP EN – Norma portuguesa

OMS – Organização Mundial de Saúde

PSE – Pale, soft and exsudative (em português pálida, macia e exudativa)

UK – United Kingdom

1. INTRODUÇÃO

1.1. A INDÚSTRIA ALIMENTAR

1.1.1. A EVOLUÇÃO E A ATUALIDADE DA INDÚSTRIA ALIMENTAR

A definição de indústria alimentar é bastante complexa e abrangente, cobrindo uma série de atividades relacionadas com o processamento, conversão, preparação, preservação e embalagem de alimentos (Malagie *et al.*, 1998, Souza *et al.*, 2018). Segundo a UK Food Standard Agency, a produção e vendas de alimentos é descrita como “[...] toda a indústria alimentar – da produção, embalagem e distribuição até ao retalho e aprovisionamento de refeições.”

Esta tem vindo a sofrer uma constante expansão, sendo hoje em dia considerada um sistema complexo de atividades que se debruça sobre o fornecimento, consumo e distribuição de produtos alimentares pelo mundo.

Antes da Segunda Guerra Mundial, a preocupação com o regime alimentar era escassa, sendo usados apenas produtos locais e sazonais. Após esse período, os alimentos processados começaram a desempenhar um papel fundamental, passando a haver uma preocupação com a sua distribuição (Recordati, 2015).

Atualmente, o mundo ocidental está cercado de diversas possibilidades de acesso a alimentos, uma rede global que permite uma extensão de ofertas cada vez mais abrangente (Trienekens e Zuurbier, 2008, Pires *et al.*, 2018). Os alimentos são hoje em dia seguros, com valor nutricional elevado, abundantes, diversos e menos dispendiosos (Nestle, 2013). A indústria alimentar tornou-se muito diversificada, com atividades industriais intensas e cada vez maiores, recorrendo a processos industriais mecanizados para dar conta das exigências impostas (Malagie *et al.*, 1998, Souza *et al.*, 2018a).

Nas últimas décadas a indústria alimentar sofreu uma revolução para conseguir responder aos novos desafios e sobreviver a constantes alterações (Jorge, 2009, Souza e Fernando, 2016). O aumento do consumo, potenciado pelo contínuo crescimento populacional constitui um dos vários desafios desta indústria na atualidade, bem como as consequências por ele desencadeadas, como o impacto ambiental e a sobre exploração de recursos (Godfray *et al.*, 2010, Souza *et al.*, 2018b).

Apesar da importância que é dada a outro tipo de indústrias, a alimentar constitui um dos setores de maior produção, e uma das que mais gera aumento na taxa de empregabilidade (Magalhães, 2012).

A industrialização da produção alimentar no século XX alterou a perceção dos comportamentos relacionados com os alimentos. Enquanto que a revolução na produção alimentar resultou maioritariamente em benefícios para os consumidores, permitindo alimentar uma sociedade em constante crescimento, resultou também na crescente possibilidade de

surgimento de riscos alimentares (National Research Council, 2010). Esta facilitou também a dispersão de contágios por contaminação de produtos com agentes patogénicos, criando o desafio de antecipar, detetar e responder de forma eficiente a ameaças que possam colocar em risco a saúde dos consumidores (Choffnes *et al.*, 2012, Souza *et al.*, 2018c).

A maioria das doenças provocadas por contaminações alimentares são possíveis de prevenir. Com a dimensão da indústria alimentar a tomar cada vez maiores proporções, foram criadas respostas que permitem uma maior antecipação e aproximação proativa da segurança alimentar – definida como um “(...)esforço colaborativo de múltiplas disciplinas que trabalham local, nacional ou globalmente para proporcionar condições ótimas de saúde animal, ambiental e humana.” (AVMA, 2008).

Neste contexto surge a importância da ciência alimentar contemporânea, que contribui em larga escala para o sucesso dos sistemas alimentares modernos integrando diversas ciências (como a toxicologia, biologia, genómica) para a resolução de questões cada vez mais complexas, como solucionar carências nutricionais e aumentar a segurança alimentar (Floros *et al.*, 2010, Souza *et al.*, 2019), num esforço coletivo para potenciar qualidade e segurança aos consumidores.

Os métodos de conservação são vistos como um ponto fulcral na segurança e qualidade alimentar (Pereira, 2011, Souza *et al.*, 2018d), permitindo que os maiores volumes de exportação e importação sejam conduzidos de forma mais segura, e permitindo que as características dos produtos se mantenham ao longo dos processos de transporte. A congelação surge como pilar fundamental na atualidade da indústria alimentar, surgindo como uma forma segura e prática de manter as características dos alimentos, ao mesmo tempo que permite o seu transporte e comercialização de forma segura (Leygonie *et al.*, 2012).

1.1.2. SISTEMAS DE GESTÃO DA SEGURANÇA ALIMENTAR

A segurança alimentar é uma disciplina científica que descreve o manuseamento, preparação e armazenamento de alimentos de forma a evitar a proliferação de doenças transmitidas por produtos alimentares e a contaminação da população (Hanning *et al.*, 2012), sendo considerada, hoje em dia, um assunto de extrema importância relativo à indústria dos alimentos (Beulens *et al.*, 2005; Grunert, 2005). Esta previne os alimentos de se tornarem prejudiciais para o consumidor no momento do consumo, quando são preparados ou em qualquer outra etapa do seu processamento (Kozaciński *et al.*, 2016).

Tem havido uma crescente preocupação com a segurança alimentar, nomeadamente devido ao aparecimento de novos riscos alimentares, como o surgimento e utilização de organismos geneticamente modificados e a proliferação de ameaças biológicas, como é o caso da *Salmonella* e *E. coli* 0157:H7 (Henson e Caswell, 1999; Trienekens e Zuurbier, 2008). A pressão política para que ocorresse um maior controlo na indústria alimentar, de forma a que consumidor aumentasse a sua confiança, conduziu a uma otimização dos sistemas de segurança alimentar. Além disso, consumidores de países industrializados exigem cada vez mais produtos de qualidade elevada e consistente (Trienekens, 2008).

Os princípios que pretendem prever a contaminação de alimentos englobam: higienização e sanitização apropriada (quer de equipamentos quer de utensílios que, de alguma forma, entrem em contacto com o alimento); a manutenção de níveis elevados de higiene pessoal; armazenamento, arrefecimento e aquecimento de alimentos feitos adequadamente; ambiente e equipamento adequado; plano de controlo de pragas eficaz e a compreensão total de alergias alimentares, intoxicações e intolerâncias. Os sistemas devem ser pensados de forma a que possam controlar o processo de produção e basear-se em conceitos preventivos (Baptista, 2007).

O sistema *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP) foi desenvolvido nos anos 60 pela empresa Pillsbury, pelos laboratórios do exército dos Estados Unidos da América e pela NASA (Bauman, 1995), constituindo atualmente a referência internacional aceite para a implementação de sistemas de segurança alimentar.

O HACCP é uma aproximação sistemática para a identificação, avaliação e controlo de perigos na segurança alimentar, através da prevenção. É um sistema de gestão que efetua o controlo de perigos biológicos, químicos e físicos desde a matéria prima até à produção, processamento, distribuição e consumo do produto acabado. A identificação no processo dos pontos de maior probabilidade de ocorrência de um perigo, torna mais fácil a tomada de medidas para prevenir a sua ocorrência (Mortimore e Wallace, 2013).

O *Codex Alimentarius* é, segundo a Food and Agriculture Organization (FAO), um conjunto de padrões reconhecidos internacionalmente, criado em 1963, tendo sido desenvolvido pela FAO e pela Organização Mundial de Saúde (OMS), com códigos de conduta, orientações e recomendações à produção de alimentos e segurança alimentar. Este código é reconhecido pela organização mundial do comércio como sendo um ponto de referência internacional que cria coerência na discussão e solução de problemas relativos à segurança alimentar e à proteção do consumidor. O *Codex* engloba todos os alimentos, sendo a sua atenção centrada maioritariamente nos alimentos que são direcionados aos consumidores.

A norma ISO22000 – Sistema de Gestão da Segurança Alimentar baseia-se nos princípios definidos pelo HACCP e *Codex Alimentarius*, reconhecidos internacionalmente. Este referencial foca-se na segurança alimentar em todas as etapas da cadeia de fornecimento. Quando aplicada, a certificação atribuída pela norma permite ao consumidor saber que um determinado mercado certificado tem a capacidade de fornecer produtos de segurança elevada, quando usados segundo a utilização prevista, estando em conformidade com os requisitos legais e regulamentares.

A NP EN ISO 22000 expõe os requisitos necessários que deverão ser cumpridos por qualquer organização do setor alimentar em Portugal. O seu objetivo é a harmonização dos requisitos necessários para fornecer ao consumidor final um alimento seguro. É aplicado em todas as fases da cadeia alimentar e a outras organizações que, de alguma forma, se encontrem ligadas à cadeia alimentar (Escanciano e Santos-Vijande, 2014).

A segurança deve estender-se a todos os locais onde existe o manuseio de produtos alimentares, sendo essencial que sejam sempre tomadas medidas que evitem o potencial

desenvolvimento de perigos. Garantir a segurança é considerada a principal prioridade das organizações com responsabilidade pela regulamentação e legislação, tendo como principal objetivo garantir a qualidade do produto e a segurança do consumidor (Robertson *et al.*, 2004).

1.2. A CARNE E PRODUTOS CÁRNEOS

1.2.1. DEFINIÇÃO LEGAL DE CARNE E PRODUTOS CÁRNEOS

Com a evolução da indústria alimentar e aparecimento de idiossincrasias associadas à segurança, houve a necessidade de criação de definições legais internacionais (Loader e Hobbs, 1999) que permitissem uma homogeneização na identificação de diferentes tipos de produtos alimentares (Vapnek, 2005).

Em termos gerais, é considerada carne o produto de origem animal que é comestível para humanos e que inclui várias partes e tecidos comestíveis, sendo a parte principal o músculo (Cobos e Díaz, 2015).

Mais frequentemente, a carne é referida como o músculo esquelético associado a gordura e tecidos. No entanto, pode também descrever outros tecidos comestíveis como as miudezas (Lawrie *et al.*, 2006). A FAO definiu carne como “todas as partes de um animal que sejam consideradas seguras e adequadas para o consumo humano.”

O termo refere-se, segundo Decreto-Lei 207/2008 de 23 de outubro, no Artigo 1º do capítulo 1, a carnes como “todas as partes comestíveis de animais das espécies bovina, incluindo búfalos e bisontes, suína, ovina e caprina, bem como solípedes domésticos, de aves de criação, de coelhos e lebres e de caça de criação e de caça selvagem, próprias para consumo humano”.

A definição legal constitui uma forma exata e segura de enquadrar produtos no ramo alimentar, de forma a estabelecer para os mesmos condições de processamento que o enquadram e que potenciam as suas características, permitindo garantir um correto processamento do produto ao longo de todas as etapas de produção.

1.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA CARNE

1.2.2.1. Composição da carne

Segundo a FAO, a carne é constituída por água, proteínas e aminoácidos, minerais, gorduras e ácidos gordos, vitaminas e outros compostos bioativos, bem como pequenas quantidades de hidratos de carbono, podendo a sua constituição variar de acordo com diversos fatores inerentes ao animal (como a espécie, raça, idade no abate e alimentação utilizada) (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001; Suleimenova, 2016).

A tabela 1.1 apresenta as quantidades relativas de diversos constituintes para diversos tipos de carne.

Do ponto de vista nutricional, a carne revela-se importante, maioritariamente por possuir um teor elevado de proteína, contendo todos os aminoácidos essenciais (elementos chave na dieta) (Wood *et al.*, 1980, Tessari *et al.*, 2016)), sendo também altamente disponível em minerais

e vitaminas, componentes minoritários de papel fundamental a nível nutricional e metabólico (Pearson e Tauber, 1984; Lombardi-Boccia *et al.*, 2005).

A carne é assim um alimento rico em vitamina B12, vitamina D, ácido fólico, ferro, zinco e selénio (Biesalski, 2005). É o conjunto e função destes elementos no organismo que determinam a sua qualidade nutricional (Listrat *et al.*, 2016).

Tabela 1.1. Conteúdo em água, proteína, gordura e cinza (em percentagem) e calorias (valores aproximados) para carne crua (adaptada).

Produto	Água (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinza (%)	Calorias /100g
Carne de vaca (magra)	75	22,3	1,8	1,2	116
Carcaça (vaca)	54,7	16,5	28	0,8	323
Carne de porco (magra)	75,1	22,8	1,2	1	112
Carcaça (porco)	41,1	11,2	47	0,6	472
Carne de vitela (magra)	76,4	21,3	0,8	1,2	98
Frango	75	22,8	0,9	1,2	105
Carne de veado	75,7	21,4	1,3	1,2	103
Gordura de carne de vaca (subcutânea)	4	1,5	94	0,1	854
Gordura de carne de porco (toucinho)	7,7	2,9	88,7	0,7	812

Fonte: FAO (2018) : <http://www.fao.org/docrep/010/ai407e/AI407E03.htm>.

A carne é maioritariamente constituída por músculo, sendo este definido como um número de fibras musculares ligadas por tecido conjuntivo (Widmaier, 2003). A proporção de músculo no corpo do animal pode variar em percentagem, dependendo de diversos fatores como o estado de nutrição e genética do animal (National Research Council, 1988; Lawrie, 2006).

A massa muscular utilizada para a produção de alimento representa, segundo Listrat (2016), cerca de 35 a 60% do seu peso corporal. A figura 1.1. representa a parte edível do bovino, disponível para alimentação humana após abate.

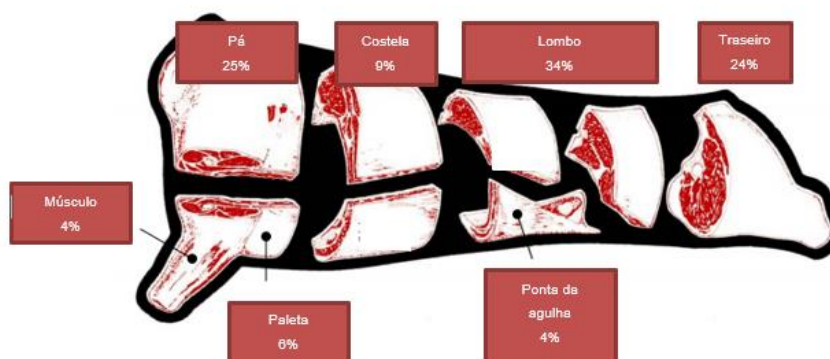


Figura 1.1. Porção edível de carne de bovino (adaptado). (Fonte: <https://www.oda.state.ok.us/food/fs-cowweight.pdf>).

Também a água é um elemento importante na carne, sendo a sua mobilidade no músculo fundamental para a tenderização, melhorando as suas características sensoriais (Cairns, 2009; Pearce *et al.*, 2011). A capacidade de retenção de água (*water-holding capacity*) é definida como a habilidade da carne para reter água no tecido, afetando a sua aparência e a suculência durante a mastigação (van Laack, 1999). Esta habilidade é uma das características de qualidade mais importantes em produtos crus, já que afetam o peso da carne, e assim o seu valor comercial (van Laack, 1999; Huff-Lonergan, 2005; Cheng, 2008).

A gordura é também um elemento importante, contribuindo para vários aspetos da sua qualidade (Wood *et al.*, 2007; Suleimenova, 2016). Os tecidos adiposos são compostos maioritariamente por lípidos neutros conhecidos como triglicéridos (Wood *et al.*, 2007) e fosfolípidos, que constituem entre 1,5% a 13% do tecido muscular. O conteúdo médio em lípidos do músculo esquelético é de cerca de 3% do peso do músculo. Várias formas de lípidos servem diversas funções, como de fonte e armazenamento de energia para a célula, componentes estruturais e funcionais da parede celular, isolantes e protetores de órgãos e agentes de solubilização para hormonas e vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) (Chow e Lobb, 2007).

As proporções de diferentes ácidos gordos na gordura variam com a dieta e com a espécie do animal. Em geral, o ácido oleico (C18:1) é o ácido gordo mais abundante em animais como o cordeiro, vaca e porco (Almeida *et al.*, 2006; Wood *et al.*, 2007), enquanto que o ácido palmítico (C16), oleico e linoleico é mais comum em carne de aves (Kralik *et al.*, 2005).

Os fosfolípidos são outro tipo de lípidos complexos encontrados no músculo. São componentes estruturais e funcionais da membrana celular, oxidando-se com mais facilidade, resultando em odores desagradáveis em produtos de carne (Devine e Dikeman, 2014).

As proteínas são um dos grupos de macromoléculas constituinte da carne, servindo inúmeras funções, sendo importantes do ponto de vista nutricional e do processamento. São consideradas a unidade de estrutura do tecido muscular. Alguns aminoácidos (unidades estruturais das proteínas) são essenciais, significando que não poderão ser sintetizados pelo organismo humano (como a fenilalanina, valina, treonina, triptofano, metionina, leucina, isoleucina, lisina e histidina (Young, 1994)), deverendo por isso ser ingeridos na dieta (Hoffman e Falvo, 2004).

Os hidratos de carbono são um componente minoritário na carne, sendo o glicogénio o hidrato de carbono maioritário. Este é a forma de armazenamento de hidratos de carbono nos mamíferos, sendo armazenado maioritariamente no músculo esquelético e no fígado (Jensen *et al.*, 2011).

Existem ainda outros componentes não proteicos azotados no músculo esquelético, incluindo substâncias como a creatina e a creatina-fosfato, nucleótidos (ATP e ADP), aminoácidos livres, péptidos (anserina, carnosina) e outras substâncias não proteicas (Toldrá, 2010).

1.2.2.2. Características sensoriais e físico-químicas

Assim que ocorre o abate do animal, inicia-se no músculo uma série de transformações químicas e físicas que irão conduzir à alteração das suas características. O processo de conversão de músculo a carne, com diferentes graus de degradação enzimática e desnaturação proteica pode resultar em variações das propriedades do alimento (de Alcantara *et al.*, 2012).

Consideram-se características sensoriais os atributos percebidos através dos órgãos dos sentidos. É o caso de atributos com a cor, aroma, maciez, firmeza e palatabilidade (de Alcantara *et al.*, 2012).

- **Cor**

A cor é a primeira característica que é tida em conta pelo consumidor, sendo a impressão ótica relacionada com aspetos que se encontram ligados à qualidade da carne (de Alcantara *et al.*, 2012). É o fator que mais influencia o consumidor, sendo o indicador de qualidade mais escolhido por não implicar a abertura da embalagem (Suman e Joseph, 2013).

A cor da carne é maioritariamente atribuída pela mioglobina - proteína sarcoplasmática que, no músculo vivo, se liga ao oxigénio e o distribui para a mitocôndria, permitindo que o tecido mantenha as suas funções (Suman e Joseph, 2013).

A desoximioglobina é uma forma da mioglobina que resulta da combinação com o ferro hemo no estado ferroso (caracterizado por uma cor vermelha arroxeada), e acontece quando a carne se encontra em ambientes sem oxigénio. Quando a mioglobina é exposta ao oxigénio, ocorre a forma oximioglobina, processo que lhe confere coloração vermelho cereja. A formação de metamioglobina resulta da oxidação do ferro hemo, podendo esta existir na forma desoxigenada ou oxigenada, resultando numa coloração acastanhada que está associada ao descontentamento do consumidor (Kerry, 2009). Na presença de monóxido de carbono, obtém-se a mioglobina na forma de carboximioglobina, com uma coloração vermelho cereja brilhante.

A figura 1.2 apresenta as diversas colorações na carne, consequência da variação do estado da mioglobina.

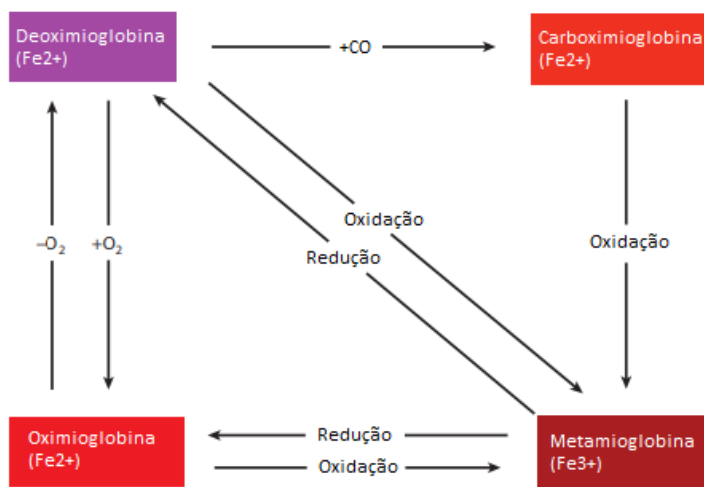


Figura 1.2. Formas reduzidas e oxidadas da mioglobina em carne fresca (adaptado). (Fonte: Suman e Joseph, 2013).

Pigmentos como a hemoglobina e o citocromo também contribuem para a coloração da carne em menor extensão (Suman e Joseph, 2013).

Uma das possíveis alterações que podem ocorrer com a cor da carne está associada à sua congelação, através da queimadura pelo frio. Esta consiste na desidratação da superfície exposta, desencadeando perda de cor. A superfície tende a ficar descolorada e, em condições extremas, ocorre o desenvolvimento de cor amarelada e problemas na textura da carne (Roça, sem data).

- **Textura**

Na maioria dos alimentos, a textura é um fator essencial para a aprovação do consumidor (Kerry, 2009). Um fator que contribui grandemente para a textura da carne é a quantidade de tecido conjuntivo. É geralmente aceite que músculos que contêm uma maior quantidade deste tecido têm uma maior rigidez. Além deste, a deposição de gordura é outro fator que afeta a textura, sendo o *marbling* (marmoreado) considerado uma qualidade desejável como critério de avaliação, associado à suculência. O tamanho das fibras musculares, bem como o diâmetro, estão também associados a variações na textura. Já a idade é um fator indireto na influência que desempenha na textura: uma vez que outros fatores como a percentagem de colagénio, efeito de *marbling* e diâmetro das fibras se alteram com a idade, tal fará com que haja uma correlação entre a idade e a textura da carne (Szczesniak e Torgeson, 1965).

A temperatura de armazenamento (na congelação ou refrigeração) pode afetar a textura. É aceite que a congelação torne a carne mais tenra, já que rompe as células musculares e

estende o tecido conjuntivo em torno das fibras musculares. Tal facto deve-se à formação de cristais de gelo, estando relacionado com a taxa de congelação (Szczesniak e Torgeson, 1965).

- **Odor**

A carne crua apresenta pouco odor. No entanto, a contaminação da carne é óbvia quando são detetados odores desagradáveis. Segundo Ejaz *et al.*, (2012), odores específicos servem de referência como uma boa fonte de informação para avaliar a degradação da carne. É comum encontrar odores diferenciados na carne, já que esta possui a capacidade de absorver odores externos. Deste modo, a carne deve ser isolada durante o transporte e armazenamento, e afastada de alimentos que sejam potenciais fontes de odor (Gracey *et al.*, 1999).

- **pH**

Bioquimicamente, após a morte do animal, ocorrem alterações bruscas, havendo perda da competência circulatória, requerendo que os tecidos passem a utilizar um metabolismo anaeróbio. Tal resulta na acumulação de produtos do metabolismo (como o ácido láctico). Assim, o pH decresce de cerca de 6,8 para 5,7 (Brewer, 2010), dando origem a carne PSE (também designada por *pale, soft and exudative*, em português, pálida, macia e exudativa). Já a carne DFD (também designada por *dark, firm and dry*, ou em português escura, firme e seca) ocorre quando após 12 a 48 horas do abate o pH se encontra a um valor superior a 6 (Adzitey, e Nurul, 2011).

As causas principais para a ocorrência de carnes PSE e DFD são o *stress* pré-abate. A combinação de um valor baixo de pH com uma temperatura elevada nas carnes PSE causam a desnaturação de algumas proteínas do músculo, levando à redução da capacidade de retenção da água (Adzitey, e Nurul, 2011). Quando esta carne é cortada, o fluído é libertado, resultando em exsudado. Tal é refletido em carnes PSE que têm pouca capacidade de retenção de água (Adzitey, e Nurul, 2011). Quando os animais são expostos a *stress* crónico ou de longa duração antes do abate, ocorrem carnes DFD (*dark, firm and dry*, ou, em português, escura, firme e seca). Exemplos de *stress* crónico são o transporte de animais por longas distâncias, privação de alimento por tempos longos e sobrelotação dos recintos por longos períodos de tempo (Silva *et al.*, 1999). Valores de pH elevados no músculo conduzem a carnes que libertam pouco exsudado, devido à ausência de desnaturação de proteínas (Adzitey e Nurul, 2011).

1.2.3. TEMPO DE PRATELEIRA E PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DA CARNE

O tempo de prateleira é o período de tempo em que os alimentos mantêm a segurança e qualidade sob condições favoráveis para distribuição, armazenamento e uso (Autoridade da Irlanda para a Segurança Alimentar, 2017).

Por ser um alimento de alta perecibilidade, a carne requer especial atenção relativamente aos métodos aplicados na sua conservação, por forma a aumentar o seu tempo de prateleira. Os fatores que afetam o tempo de prateleira da carne englobam fatores extrínsecos e intrínsecos, e encontram-se representados na figura 1.3. (Subramaniam e Wareing, 2016).

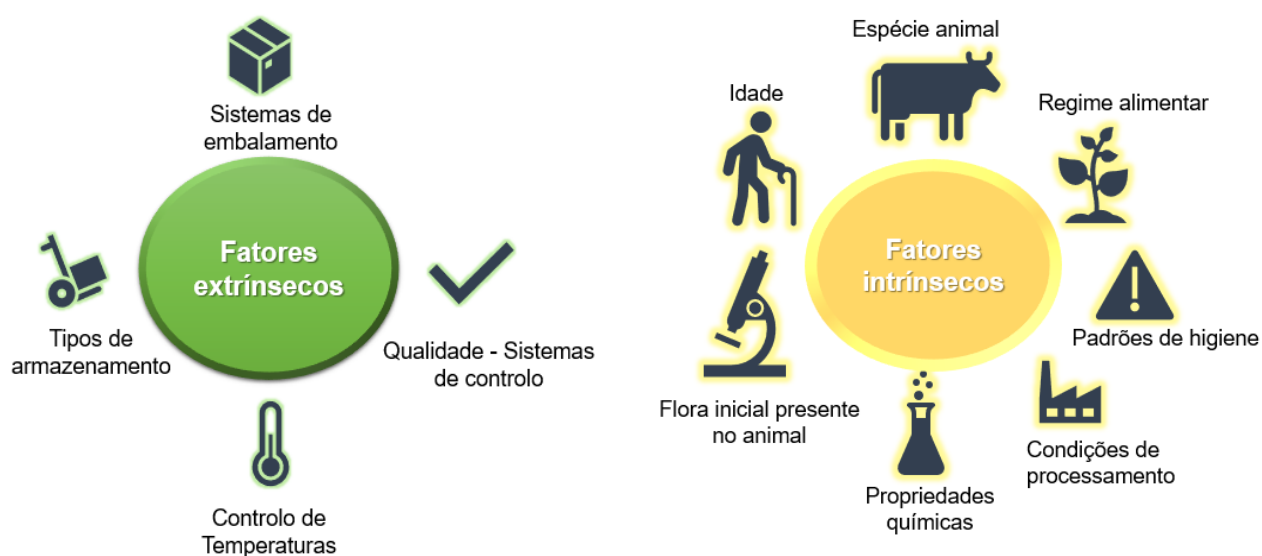


Figura 1.3. Fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam o tempo de prateleira da carne (adaptado). (Subramaniam e Wareing, 2016).

A dieta do animal pode ter impacto no tempo de prateleira da carne. Segundo Traber e Atkinson (2007), a utilização de alimentos enriquecidos com vitamina E nas dietas de alguns animais podem estender o seu tempo útil, devido ao efeito antioxidante que podem desempenhar na carne.

O manuseamento e transporte do animal são pontos fulcrais que afetam o tempo de prateleira, já que uma manipulação indevida do animal poderá resultar em *stress*, o que altera o valor de pH da carne final, possibilitando a criação de situações que facilitam o desenvolvimento

de microrganismos. O manuseamento pode também conduzir a contaminação microbiológica (Adesokan e Raji, 2014).

As técnicas de conservação são outro fator que afeta o tempo de vida útil do produto. Enquanto que a refrigeração permite manter o produto disponível em condições aceitáveis para consumo durante alguns dias, a congelação permite que este atinja tempos de prateleira mais extensos (Subramaniam e Wareing, 2016). A congelação é um aliado importante, sendo a mais utilizada para preservação a longo termo, já que inibe a degradação por microrganismos, e retarda as reações autolíticas (Utera e Estévez, 2013). Atualmente, uma das técnicas utilizadas consiste na utilização de atmosfera modificada, uma técnica onde o ar é substituído, no interior da embalagem, por uma mistura de gases (normalmente oxigénio, dióxido de carbono e azoto em proporções diferentes da do ar) ao redor do produto, proporcionando uma extensão do tempo de prateleira do mesmo, por efeito inibitório da mistura de gases sobre diferentes tipos de microrganismos (Mantilla *et al.*, 2010).

A carne é um alimento com elevado valor nutricional, proporcionando um ambiente ideal para o desenvolvimento de microrganismos pela sua composição física e química, atividade da água e valor de pH do meio (Kameník, 2013).

A degradação pode ocorrer em qualquer etapa do processamento, podendo ter origem por contaminação com insetos, alterações físicas e atividade de enzimas no tecido animal ou vegetal por infeções microbianas (Rawat, 2015). A decomposição é um processo que tem início logo após a morte do animal. A quebra de nutrientes é precursora de odores e sabores desagradáveis, tornando a carne imprópria para consumo (Dave e Ghaly, 2011).

Quando não são aplicados tratamentos para contrariar a deterioração da carne, esta ocorre no período de horas a dias. No entanto, a carne pode manter-se apta a consumo por mais tempo se medidas forem implementadas durante a sua produção.

1.2.3.1. Contaminação microbiológica

As reações químicas que ocorrem nos alimentos são em grande parte mediadas por vários tipos de microrganismos. Estes incluem procariontes, organismos unicelulares, eucariontes e leveduras (Rawat, 2015).

A carne providencia um meio ideal para a proliferação de uma grande variedade de microflora, sendo no trato intestinal e na pele do animal onde se encontram os maiores focos de contaminação microbiana. O número de colónias de bactérias rapidamente aumenta, causando alterações organoléticas e conduzindo à sua deterioração (Jay *et al.*, 2003).

A população inicial de bactérias na carne depende do estado fisiológico do animal no momento de abate, bem como do nível de contaminação ambiental no matadouro e áreas subsequentes de manuseamento da carne (Serraino *et al.*, 2012).

Apenas uma porção da flora bacteriana inicial da superfície da carne contribui para a degradação da mesma. Borch *et al* (1996) constatou que apenas 10% das bactérias presentes

na carne após o abate são capazes de crescer sob temperaturas de refrigeração e que destas, apenas uma parte é capaz de deteriorar o produto.

A temperatura é um fator crucial para o desenvolvimento de microrganismos, podendo o tempo de prateleira ser estendido e o crescimento de microrganismos limitado se se reduzir a temperatura de armazenamento (Marshall e Bala, 2001), sendo esta a base de conceitos de conservação como a congelação e refrigeração. Durante o armazenamento outros fatores como os ambientais, atmosfera, pH e conteúdo em sal vão afetar o desenvolvimento de diferentes estirpes, afetando a sua taxa de crescimento e atividade. Dependendo destes fatores, o tempo de prateleira da carne refrigerada pode variar entre dias a meses (Borch *et al.*, 1996).

1.2.3.2. Oxidação lipídica

A autooxidação de lípidos e a produção de radicais livres são processos naturais que afetam uma grande variedade de ácidos gordos e conduzem à deterioração oxidativa da carne (Simitzis e Deligeorgis, 2010).

A oxidação de lípidos no músculo inteiro ocorre de forma relativamente lenta, excetuando na presença de um catalisador (Boles, 2010).

Os fosfolípidos são muito suscetíveis à oxidação lipídica, já que possuem um conteúdo elevado de ácidos gordos polinsaturados. A oxidação pode ser induzida por vários fatores, como a luz, temperatura e concentração de oxigénio (Cui e Decker, 2016).

Após o abate de animais, os ácidos gordos presentes nos tecidos iniciam processos de oxidação (Linares *et al.*, 2007). A oxidação lipídica é a reação do oxigénio com a dupla ligação de ácidos gordos, e envolve três passos: a iniciação, propagação e terminação (Fernindez *et al.*, 1997; Boles, 2010).



Figura 1.4. Reação de oxidação (iniciação e propagação) (Rashed *et al.*, 2015).

Uma vez iniciada, a reação prossegue em cadeia, terminando apenas quando se esgotarem as reservas de ácidos gordos insaturados existentes e o oxigénio.

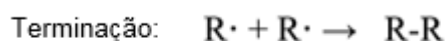


Figura 1.5. Terminação e formação de produtos estáveis (oxidação lipídica) (Rashed *et al.*, 2015).

A terminação ocorre quando estes radicais livres interagem para formar um produto não radical. As taxas de oxidação são afetadas pela facilidade de abstração do hidrogénio dada pela presença em abundância de ligações duplas nos ácidos gordos. Assim, a oxidação tende a ser maior quanto maior a percentagem de ácidos gordos polinsaturados (Jackson *et al.*, 2012). A oxidação lipídica, além da composição em ácidos gordos, vai depender de vários factores, como o nível de antioxidante vitamina E (α -tocoferol) e de oxidantes como o ferro livre existente nos tecidos musculares (Traber e Atkinson, 2007; Boles, 2010).

Na oxidação, são produzidos hidroperóxidos a partir de ácidos gordos altamente insaturados da membrana dos fosfolípidos (Boles, 2010; Simitzis e Deligeorgis, 2010). A sua quebra leva à formação de compostos variados como o pentanal e o hexanal, 4-hidroxinonenal ou malondialdeído (MDA), bem como outros compostos oxigenados, como os aldeídos, ácidos e cetonas (Fernandez *et al.*, 1997). Estes produtos secundários podem conduzir à perda de cor e de valor nutricional devido ao efeito que exerce nos lípidos, pigmentos, proteínas, carboidratos e vitaminas, estando diretamente relacionados com processos carcinogénicos e mutagénicos.

A oxidação lipídica é indesejável, já que é um fator que afeta negativamente a qualidade dos produtos alimentares. Esta degradação é de grande importância económica na produção de alimentos ricos em lípidos. A oxidação de ácidos gordos não só produz odores e sabores desagradáveis, como diminuir a qualidade nutricional e segurança pela formação de produtos de reação secundários (Frankel, 1980).

1.2.4. PERIGOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NA CARNE

Durante o abate, a carne fica exposta a vários contaminantes que têm origem em diferentes fontes (Bell, 1997; Alum *et al.*, 2016).

Os microrganismos patogénicos principais, que deverão ser tidos em conta atualmente na contaminação da carne incluem *Salmonella*, *Campylobacter*, *E. coli* enteremorrágica, (incluindo a estirpe 0157:H7), bem como outros patogénicos entéricos. Apesar de ocorrer um constante progresso para o seu controlo, alguns deles continuam a ser de grande preocupação na indústria alimentar (Sofos, 2008).

As bactérias conseguem instalar-se na carne através de processos de aderência e penetração na matriz. A penetração de bactérias na carne resulta na destruição de fibra muscular por enzimas proteolíticas que são libertadas pelos microrganismos (Al-Sultan e Jasni, 2015). Fatores que afetam a penetração englobam a temperatura, humidade, pH, reações de oxidação-redução, tamanho do corte da peça e o tipo de carne (Alaswad, 1989).

Quando sujeitos a ambientes hostis que provocam *stress*, (como processos de congelação), alguns microrganismos são eliminados, enquanto outros vêm a sua taxa metabólica reduzida ou afetada. Estes efeitos devem-se ao choque térmico sofrido pelos microrganismos,

desidratação celular e formação celular de gelo, podendo estes efeitos ser letais para os mesmos (Golden e Arroyo, 1997).

Em termos dos perigos biológicos, uma das maiores vantagens da congelação é a redução ou prevenção do crescimento de microrganismos patogénicos presentes na superfície da carne ou no interior do próprio produto. No entanto, algumas enzimas poderão permanecer ativas em temperaturas de congelação, causando degradação (Sun, 2016). O efeito da congelação nos microrganismos (com exceção de estruturas resistentes) é bastante eficiente. Durante a congelação, estes são expostos a efeitos debilitantes e letais de choque de temperaturas, crescimento intracelular dos cristais de gelo e aumento da concentração de solutos dos sucos não congelados da carne (Jeremiah, 1996).

A eliminação de bactérias ocorre para um intervalo de temperaturas entre os - 4°C e os - 10°C, devido ao choque térmico, ponto no qual o seu metabolismo é perturbado ou suspenso. Quando a taxa de congelação é baixa e o processo de congelação é lento, estas tendem a adaptar-se à temperatura, sendo este um dos motivos pelos quais a congelação deve ser rápida (Dempsey e Bansal, 2012).

Os perigos químicos podem ter fontes distintas: químicos adicionados não intencionalmente, perigos químicos que ocorrem naturalmente e químicos adicionados intencionalmente (Natural Research Council, 1998).

Tal como outros alimentos complexos, a carne sofre inúmeras alterações durante o seu processamento e comercialização. Estas alterações incluem a formação de compostos (como as nitrosaminas e os produtos de oxidação lipídica, que não são favoráveis para o alimento, e que podem estar na origem de diversas doenças) (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001).

Os químicos adicionados de forma não intencional podem ter várias origens, podendo ser estas ambientais ou de contaminantes industriais, bem como substâncias usadas na produção de alimentos cuja intenção não seria fazerem parte dos mesmos (Natural Research Council, 1998). Relativamente à indústria da carne, o principal contacto que pode ocorrer pode ter origem em desinfetantes de limpeza, nas embalagens utilizadas para proteger a carne, na utilização de conservantes alimentares e na utilização de hormonas e antibióticos (Natural Research Council, 1998).

Os químicos podem ainda ser adicionados de forma intencional. Incluem-se nesta categoria substâncias como enzimas, vitaminas e minerais, e outros ingredientes adicionados por forma a aumentar o valor nutricional do alimento, ou que permitem manter determinadas características (como o sal e os nitritos) (Research Council, 1998; Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001).

Estes agentes devem sofrer um controlo rigoroso quando utilizados na indústria alimentar (nomeadamente na indústria das carnes) já que poderão desencadear a manifestação e ocorrência de um variado espectro de doenças, que incluem manifestações crónicas ou agudas do contacto direto ou indireto com contaminantes de origem química.

1.3. CONGELAÇÃO DA CARNE E PRODUTOS CÁRNEOS COMO TÉCNICA DE CONSERVAÇÃO

Com o aumento das trocas comerciais a nível mundial, a necessidade de congelar carne para o transporte tem vindo a sofrer um aumento (Leygonie *et al.*, 2012). A congelação tornou-se assim um meio de preservação fundamental para a conservação, sendo considerado um dos métodos mais eficientes, criando produtos com longos tempos de prateleira e com uma qualidade próxima aos produtos frescos (Speck e Ray, 1977; Berry, 2008; Frihat *et al.*, 2012; Rodezno, 2013).

Na carne, o principal objetivo da congelação é desacelerar e prevenir as alterações que ocorrem no *post mortem* e que podem afetar a segurança microbiológica, a qualidade sensorial e o valor nutricional. Segundo Berry (2008), apesar do processo de congelação não ter uma ação significativa no valor nutricional da carne, ainda não é certo se tempos de congelação prolongados têm impacto na perda significativa de nutrientes. No entanto, existem alterações detetadas, como a oxidação lipídica, principalmente de alimentos cujo conteúdo em ácidos gordos polinsaturados é maior, já que estes são mais suscetíveis à oxidação (Berry, 2008).

A baixas temperaturas, enzimas e microrganismos são inibidos, ocorrendo uma redução da sua taxa metabólica. Um aumento da temperatura pode permitir o crescimento de microrganismos patogénicos ou aumentar a taxa de degradação do alimento.

A taxa de congelação e o tempo para que o produto atinja temperaturas corretas vai influenciar a qualidade final do produto (Singh e Heldman, 2001; Rodezno, 2013). Qualquer elevação de temperatura que ocorra no armazenamento tende a reduzir a qualidade do produto (Singh e Heldman, 2001).

A congelação consiste na cristalização de água no tecido muscular (Jeremiah, 1996), baseando-se na transformação da água na matriz do alimento, através da formação de cristais. Apesar dos cristais permanecerem no alimento, a restante água não congelada torna-se consequentemente mais concentrada em solutos, tornando a sua atividade da água menor (Nevsadbá, 2008).

O gelo forma-se através do processo de cristalização, que engloba duas fases: a nucleação e o crescimento de cristais (Jeremiah, 1996). Estes processos são fulcrais para os efeitos de diferentes taxas de congelação (Jeremiah, 1996).

A nucleação é um processo em que ocorre a associação de moléculas para formar uma partícula de pequenas dimensões, ordenada e estável, que irá servir de base para a formação do cristal. Em solutos puros (como o caso da água), a nucleação é homogénea, enquanto que em alimentos como a carne, ocorre nucleação heterogénea. Os núcleos dos cristais são formados sobre partículas que se encontram suspensas, sólidos insolúveis, superfícies de películas ou paredes de embalagens (Gava *et al.*, 2009).

Após este processo, ocorre o crescimento de cristais. As moléculas de água, ao juntarem-se aos núcleos anteriormente formados, aumentam o tamanho dos cristais. Para valores de

temperatura muito baixos, a velocidade de crescimento dos cristais é mais reduzida. Tal facto ocorre devido à elevada viscosidade do meio, o que limita a movimentação das moléculas de água (Gava *et al.*, 2009).

A formação de cristais de gelo pode diminuir a qualidade dos produtos pelos seguintes mecanismos:

- **Danos mecânicos na estrutura:** O volume dos cristais é superior ao da água (10%), fazendo com que os cristais comprimam a matriz (Nevsadba, 2008).
- **Cross linking de proteínas (principalmente na carne):** Diminui a quantidade de água no estado líquido disponível para as proteínas e aumenta a concentração de eletrólitos durante a congelação, conduzindo à agregação e desnaturação da actomiosina (Nevsadba, 2008).
- **Reabsorção de água limitada na descongelação:** Está ligada ao mecanismo de *cross linking* das proteínas. Ocorre, por exemplo, no tecido animal, onde as proteínas do músculo, durante o armazenamento de congelados, ficam despojadas da sua água de hidratação. Na descongelação, o tecido pode não reabsorver os cristais de gelo descongelados para o valor de água que tinha antes da congelação. Tal conduz à libertação não desejada de exsudado (Nevsadba, 2008).

Os mecanismos de *cross-linking* e reabsorção de água limitada são os principais responsáveis pela perda de qualidade de alimentos na congelação, nomeadamente na carne (Nevsadba, 2008).

A congelação é um processo que pode ser efetuado de forma lenta ou de forma rápida (Jay *et al.*, 2005). Durante o processo de congelação lenta, a temperatura do produto permanece bastante próxima do ponto de congelação inicial durante um grande período. A água que se encontra no exterior da célula congela mais rapidamente do que a de conteúdo intracelular, devido à menor concentração de solutos que apresenta. Esta técnica vai resultar na formação de cristais de gelo, tanto maiores quanto maior for o período de congelação. Neste processo, os cristais vão tomando a forma de dendrites, formando estruturas semelhantes a agulhas que irão conduzir ao rebentamento da célula, originando assim perda de água durante a congelação, e contribuindo para a sua perda de características (Jeremiah, 1996; Leitão, 2015). A figura 1.6. apresenta a variação do tamanho dos cristais, com a variação de velocidade de congelação.

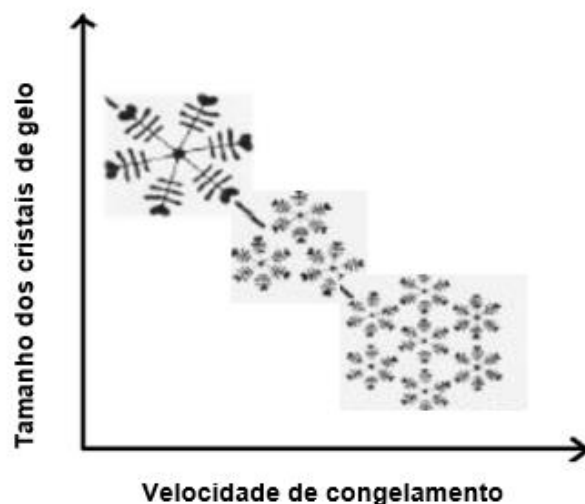


Figura 1.6. - Relação entre tamanho dos cristais de gelo e velocidade de congelação (adaptado) Fonte: (Leitão, 2015).

A congelação rápida forma cristais de gelo de dimensões muito pequenas, nomeadamente dentro da célula. Quando ocorre descongelação, uma vez que não houve rompimento da estrutura celular, não ocorre destruição celular do produto (Jeremiah, 1996; Jay *et al.*, 2005; Leitão, 2015). Durante a descongelação, uma carne que tenha sofrido um processo de congelação mais rápido irá apresentar menor quantidade de exsudado, já que a água intracelular permanece nas células, não saindo como consequência da rotura celular (Jeremiah, 1996), traduzindo-se em melhores características organoléticas.

A congelação rápida apresenta diversas vantagens relativamente à congelação lenta, como, além das já citadas, uma prevenção célere do crescimento microbiano (não havendo fases críticas de baixas temperaturas em que pode ocorrer crescimento microbiano residual) e inibição da ação enzimática de forma mais eficiente (Jay *et al.*, 2005).

Para alguns produtos, a congelação rápida é requerida para garantir a formação de cristais de pequenas dimensões que provoquem menos danos no tecido (Jeremiah, 1996; Singh e Heldman, 2001). No entanto, há produtos que não são influenciados por mudanças estruturais e não justificam os custos adicionais (Singh e Heldman, 2001).

A tabela 1.2 apresenta os valores de velocidade de congelação típicos para diferentes técnicas utilizadas.

Tabela 1.2. Velocidades de congelação típicas em função do tipo de congelação (adaptada).

Tipos de congelação	Velocidade (m/s)
Congelação lenta	$5,56 \times 10^{-7}$
Congelação rápida (túnel ou placas)	1,38 a $8,33 \times 10^{-6}$
Congelação rápida de produtos pequenos	1,39 a $2,78 \times 10^{-5}$
Congelação muito rápida	$2,78 \times 10^{-5}$ a $2,78 \times 10^{-4}$

Fonte: (Leitão, 2015).

A necessidade de manter a temperatura de refrigeração e congelação ao longo da cadeia de produção representa um custo significativo para os produtores e retalhistas (Fellows, 2009), que varia dependendo dos gastos energéticos.

Em geral, quanto mais baixa a temperatura do alimento, mais tempo este poderá ser mantido em armazenamento (Fellows, 2009). Para atingir a congelação de um produto, este deve ser exposto a baixas temperaturas por tempo suficiente para remover o calor sensível e o calor latente de fusão do produto. A sua temperatura deverá diminuir até ao ponto de congelação inicial. Este ponto é sempre uma temperatura mais baixa do que o ponto de congelação da água pura, uma vez que na matriz estão presentes substâncias dissolvidas (Cerros, sem data). Na maioria dos casos, aproximadamente 10% da água no alimento irá manter-se no estado líquido, para temperaturas de armazenamento de produtos congelados (Singh e Heldman, 2001).

A parte mais extensa do processo de congelação é a remoção do calor latente, enquanto a água transita para gelo (Cerros, sem data; Frihat *et al.*, 2012). A figura 1.7. apresenta uma curva típica de congelação para um produto.

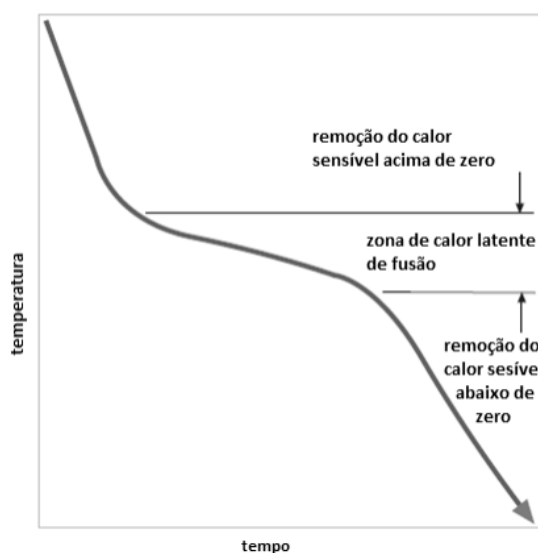


Figura 1.7. Processo típico de redução de temperatura durante congelação. (Fonte: Cerros, sem data).

Os sistemas de congelação utilizados em indústrias podem ser divididos em dois grupos maioritários: Os métodos que usam ar como meio de refrigeração, e os que utilizam outros meios de remoção de calor. A substância refrigerante mais usada é o amoníaco, existindo unidades que funcionam com utilização de gás carbónico (Galva *et al.*, 2008).

É possível agrupar os equipamentos em categorias, em função do tipo de transmissão térmica:

- **Contacto direto (metal):** Congeladores de placa, correia, banda, tambor e rotativos.
- **Ar ou outro gás como meio:** Congeladores de ar forçado.
- **Meio líquido:** Congelador de imersão.
- **Vaporização de um líquido ou sólido:** Congeladores de azoto líquido, dióxido de carbono líquido ou sólido.

Cada tipo de equipamento será mais ou menos conveniente dependendo do tipo de produto que se pretende congelar (Cerro, sem data). O processo de congelação pode ser atingido usando sistemas de contacto direto ou indireto. (Singh e Heldman, 2001).

Sistemas de contacto indireto: Em diversos sistemas de congelação de produtos alimentares, o produto e o refrigerante encontram-se separados por uma barreira durante o processo de congelação. Apesar de vários sistemas usarem barreiras não permeáveis entre o produto e o refrigerante, os sistemas de congelação indireta incluem sistemas sem contacto direto, incluindo aqueles em que o material da embalagem se torna a barreira. Estes sistemas incluem congelação por pratos (*Plate freezers*), e congelação por ar forçado (*Air Blast Freezers*), bem como congeladores de alimentos líquidos (*freezers for liquid foods*) (Singh e Heldman, 2001).

Sistemas de contacto direto: Muitos sistemas de congelação para alimentos operam com contacto diretamente entre o refrigerante e o produto. Na maioria das situações, estes sistemas operam de forma mais eficiente, já que não existem barreiras de transferência de calor entre o refrigerante e o produto. Os refrigerantes utilizados nos sistemas devem possuir baixas temperaturas a alta velocidade de circulação, ou deverão ser líquidos refrigerantes com mudança de fase, enquanto se encontrarem em contacto com a superfície do produto. Em todo o caso, os sistemas encontram-se desenhados para atingir rapidamente a congelação, e o termo *individual quick freezing* – IQF (congelação rápida individual, em português) pode ser aplicado. São exemplos de sistemas de contacto direto o ar forçado (em contacto direto com o alimento) e a imersão (Singh e Heldman, 2001).

A tabela 1.3. evidencia algumas das diversas técnicas existentes, bem como as características de cada uma. A existência de várias técnicas de congelação permite a seleção

personalizada, dependendo do tipo de produto. Deverão também ser tidos em conta os a relação entre os custos e benefícios do método a utilizar, face ao objetivo pretendido.

Tabela 1.3. Métodos de congelação e diferenças de características (adaptada).

Características	Ar parado	Túnel de ar forçado	Cinta	Espiral	Imersão	Criogénico
Custo capital	B	I	I	I/A	B	B
Ventoinha/energia fornecida	B	I/E	I/E	I/A	B	B
Custos de operação gerais	B/I	I	I	I	B/I	E
Taxa de congelação	B	B/I	I	I	E	E
Perda de peso para não acondicionados	E	I/E	I	I	B	B
Tamanho do produto	T	T	B/I	B/I	B/I	B/I
Forma do produto	T	T	U	T	T	T
Tipo de produto	T	T	FV/P/PE	T	C	T

Legenda:	B=Baixo;	I= Intermédio	E= alto, elevado
	T=Todos;	U=Uniforme	P=Processado
	PE=Peixe	FV= Frutos/vegetais	C=carne

Fonte: (Valentas *et al.*, 1997)

Segundo um estudo comparativo realizado por Rodezno (2013), a técnica de congelação criogénica é a técnica com melhores resultados na qualidade de produto, sendo superior à qualidade dos produtos congelados por ar forçado (nomeadamente em relação a processos de oxidação lipídica ao fim de vários meses e perdas de peso do produto). No entanto, os custos de operação desta técnica são elevados (Valentas *et al.*, 1997).

1.3.1. CONGELAÇÃO POR AR

O ar é o meio de congelação mais comumente utilizado. O ar é soprado em contracorrente, vertical ou horizontalmente relativamente ao produto. Uma vez que o calor específico do ar é baixo, são necessárias grandes quantidades de ar para realizar a congelação (Saravacos e Kostaropoulos, 2002).

Muitas vezes, as câmara de armazenamento são usadas como forma de congelar produtos. No entanto, é errado que assim o seja, já que a congelação neste meio envolve diversas desvantagens, entre elas o facto de se tratar de um processo lento, contribuindo para a formação de critais de gelo de grandes dimensões (Mallett, 1993).

1.3.1.1. Congelação em túnel de ar forçado

Existem diferentes tipos de congeladores de ar forçado (ou *air blast freezing*, em inglês), que são amplamente utilizados na indústria alimentar devido à sua elevada versatilidade (Leitão, 2015).

Estes tipos de congelador são usados para alimentos de médio a grande calibre, onde a taxa de congelação é limitada pelo tamanho do produto. O produto não necessita de possuir um formato regular. Este é colocado em estantes ou tabuleiros, de forma a que o ar circulante consiga chegar a todos os produtos individualmente (ou embalagens, caso o produto seja embalado) (Valentas *et al.*, 1997).

O ar no interior do túnel circula a uma velocidade de geralmente 3 a 5 m/s, sendo a temperatura média do túnel cerca de - 35°C (podendo variar dependendo do tipo de congelador). Uma velocidade de ar em circulação que seja superior a 5 m/s não aumenta a remoção de calor do produto, podendo ainda favorecer a secagem à superfície e aumentar os gastos energéticos (Leitão, 2015).

O sistema de ar forçado é classificado como um fenómeno de convecção onde o uso de ventoinhas produz um coeficiente de transferência de calor e uma temperatura uniforme baixa em todo o congelador (Dempsey e Bansal, 2012).

Estes sistemas podem possuir um *design* muito simples, consistindo numa sala com ventoinhas de ar estrategicamente colocadas. O produto é colocado na sala de material isolante, onde irá circular o ar refrigerado com uma determinada velocidade, congelando o produto (Singh e Heldman, 2001).

No sistema em túnel, o ar permanece confinado, atravessando a secção transversal onde o produto se encontra. O produto, de forma a ser congelado corretamente, deve ser espaçado de forma regular para que a distribuição do ar seja uniforme. Apesar de se utilizarem maioritariamente produtos semelhantes na congelação de forma a permitir uniformidade no processo, este tipo de técnica permite que seja efetuada a congelação de produtos de diferentes gramagens e formatos em simultâneo (Valentas *et al.*, 1997).

Na congelação por ar forçado o ar frio, que foi arrefecido por contacto indireto com um refrigerante num permutador de calor, é soprado pela superfície do produto. A vantagem do congelador por ar forçado é a capacidade para acomodar qualquer tipo de produto, independentemente do seu tamanho ou forma (Singh e Heldman, 2001).

A velocidade do ar e o coeficiente de transferência de energia podem ser alterados com o uso de diferentes velocidades de ar. O maior prejuízo desta técnica é a utilização de ventoinhas de grandes dimensões que aumentam a carga total de calor no sistema de refrigeração, bem como os custos de funcionamento. Além disso, alimentos não acondicionados estão propensos à ocorrência de perdas de humidade e queima por frio durante a congelação, já que a humidade do ar circulante é geralmente menor do que a da superfície do alimento (Dempsey e Bansal, 2012). A figura 1.8. apresenta um esquema de um sistema de congelação em túnel por ar forçado.

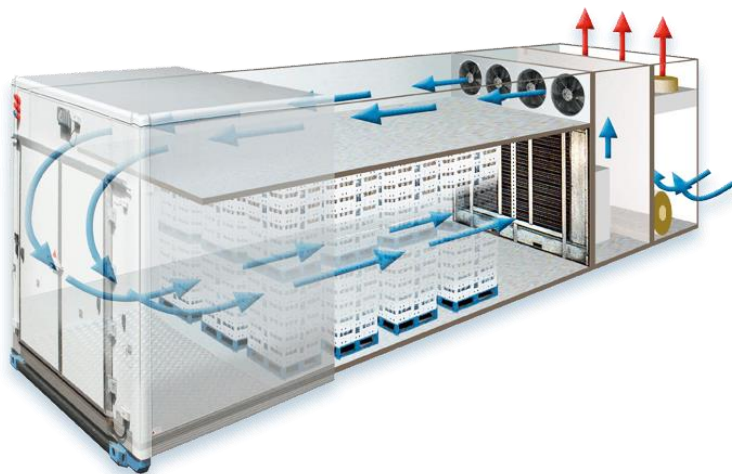


Figura 1.8. Representação esquemática de um túnel de congelação por ar forçado. (Fonte: <https://www.dawsonrentals.co/blast-chiller>).

A maior vantagem da congelação por túnel com ar forçado é a versatilidade (Dempsey e Bansal, 2012; Rodezno, 2013). Uma vez que o ar é um fluído de baixa viscosidade, tem a capacidade de conseguir contornar superfícies irregulares, permitindo uma maior cobertura de congelação por todo o produto (Dempsey e Bansal, 2012).

Segundo Frihat *et al.*, (2012), para que este tipo de congelação seja eficiente, é necessário que o equipamento encaixe nas especificações requeridas para a sua aplicação. O *design* destes equipamentos requer que sejam estimados os tempos necessários para a congelação dos produtos que nele serão processados, de forma a reduzir os custos e a garantir que são atingidas as temperaturas necessárias para a correta congelação.

1.3.1.2. Congelação em túnel espiral (*Spiral Air Blast Freezer*)

A congelação em túnel de espiral é um dos métodos de congelação mais utilizados industrialmente. Foi desenvolvido para uma congelação IQF, ou para embalagens congeladas individualmente, considerando-se a temperatura mínima de - 30°C (Leitão, 2015).

Neste método, uma cinta metálica (que poderá também ser plástica) encontra-se encaixada num arranjo em espiral, que pode conter até cinquenta níveis de altura. As esteiras metálicas são flexíveis e autoempilháveis, funcionando automaticamente e podendo ser usadas para processar diversos alimentos em simultâneo (Leitão, 2015). Permitem a utilização de cintas de grandes dimensões (permitindo carregar uma maior quantidade de produto em simultâneo), numa área compacta ao longo de um espaço vertical amplo (Valentas *et al.*, 1997).

No túnel de congelação em espiral a cinta encontra-se enrolada, em contacto com um cilindro metálico onde encaixa, que a faz subir até ao topo, onde o produto sai congelado. O ar sopra através do cilindro na vertical, antes de descer diretamente pela superfície do alimento. A

maior vantagem deste método é a flexibilidade de operação (pode ser usada para mais do que um tipo de produto em simultâneo) e a sua capacidade de congelação ser elevada (Singh e Heldman, 2001).

É uma técnica adequada ao processamento de produtos com elevados *timings* de congelação. No entanto, a altura do produto é limitada pela distância que existe entre as espirais e pelo peso total (Valentas *et al.*, 1997).

Os túneis de congelação em espiral permitem o aumento da capacidade de congelação, sem que daí decorra a necessidade de aumentar o espaço físico ocupado pelo equipamento. Os produtos têm a possibilidade de dar entrada diretamente da linha de produção para o equipamento. Uma vez que são congelados numa única camada, possibilitam a congelação rápida e individual. Como os produtos mantêm a ordem de entrada na saída, a separação de produtos diferentes é possível e facilitada (Leitão, 2015).

Este método é amplamente utilizado na indústria alimentar para produções de grande envergadura devido à sua conveniência, flexibilidade e eficiência (Dempsey e Bansal, 2010). A figura 1.9. apresenta um esboço de um sistema de congelação em espiral.

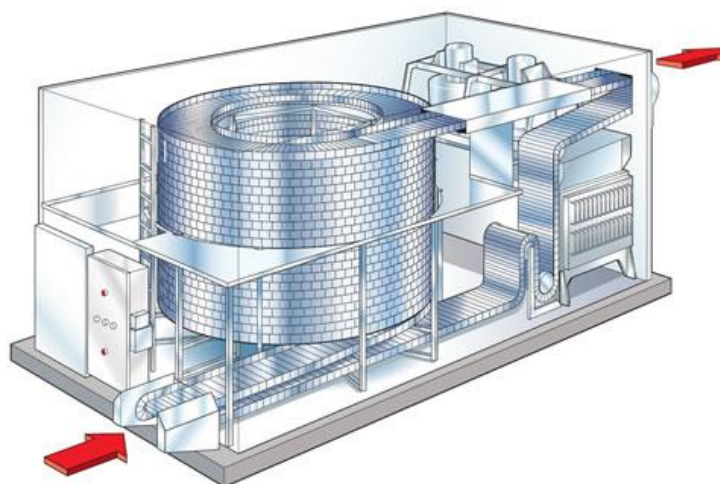


Figura 1.9. Representação esquemática de um túnel de congelação em espiral. (Fonte: <https://www.exapro.com/frigoscandia-gyrocompactr-600-classic-new-p61024016/>).

A principal desvantagem do método é, segundo Dempsey e Bansal (2012), ser um método mais dispendioso que o método de congelação por túnel de ar forçado.

1.3.2. PARÂMETROS DE CONGELAÇÃO

O processo de congelação possui uma influência importante nas propriedades térmicas dos alimentos.

O tempo necessário para que a congelação ocorra depende de vários fatores, que incluem a temperatura da câmara, a composição do alimento, a sua temperatura inicial, o tipo, tamanho e formato do produto a congelar, bem como a técnica utilizada (Galva *et al.*, 2008). A congelação por ar estático, por exemplo, é um método economicamente acessível, mas lento, sendo geralmente utilizado na congelação doméstica (Galva *et al.*, 2008).

O tempo de congelação pode ser reduzido usando ventiladores nas câmaras. O ar frio, ao ser movimentado a alta velocidade, produz uma congelação mais rápida e eficiente. (Galva *et al.*, 2008).

À superfície da embalagem, o calor é transferido por convecção para o ar circundante entre as embalagens. Em algumas situações, as embalagens estão em contacto com outras embalagens e não com o ar. Nestas situações, a transferência de calor ocorre também por condução (Mannapperuma *et al.*, 1994).

A dimensão, especialmente a espessura e a forma do produto, afetam a transferência de calor geral, o que inclui o coeficiente de transferência de calor e a condutividade de cada tipo de produto. Quando o produto é congelado por ar forçado, a taxa de congelação aumenta com o aumento da velocidade do ar para um determinado valor (Hui *et al.*, 2004).

Em alimentos embalados, a embalagem oferece resistência à transferência de calor, dependendo da sua espessura e condutividade. Esta resistência aumenta consideravelmente se o ar ficar preso entre as embalagens e produtos (Hui *et al.*, 2004). A posição relativa dos alimentos no interior da caixa vai também afetar a sua congelação. Assim, um conjunto de aberturas nas caixas facilitarão a uniformidade no processo (Mannapperuma *et al.*, 1994).

Assim, a taxa de arrefecimento do produto vai variar com as propriedades isolantes da embalagem, a espessura do alimento a ser congelado e a temperatura e velocidade do ar circulante em torno da embalagem (Van Schothorst, 2005).

As variações que acontecem em termos de propriedades devem ser tidas em conta em aplicações práticas. As definições de propriedades térmicas normalmente tidas em conta incluem o conteúdo em água, ponto de congelação médio, calor latente e calor específico (Mallett, 1993).

Além dos aspetos associados aos alimentos, existem ainda os que se encontram relacionados com o equipamento. Após o *design* do equipamento de congelação estar concluído, devem ser tidas em consideração as operações na unidade industrial. Estas são dificultadas pelo facto de o equipamento não operar sempre nas condições para as quais foi executado. No entanto, assim que é construído, as únicas variáveis que podem sofrer alterações são as condições internas associadas ao congelador. Estas alterações fazem variar os custos de produção e a capacidade associada (Valentas *et al.*, 1997).

Um cálculo chave no *design* do processo de congelação é a determinação do tempo de congelação. É impossível estimar e estabelecer tempos de congelação rigorosos para todos os alimentos existentes, já que estes possuem uma elevada complexidade.

Os valores de propriedades térmicas não são valores exatos, sendo normalmente estimados, e são uma consideração importante quando se utilizam propriedades determinadas experimentalmente. Atualmente já se encontram desenvolvidos *softwares* informáticos que efetuam uma estimativa acerca das propriedades termofísicas, através das propriedades dos produtos (tendo em conta composição química, temperatura, densidade, entre outros) (Mallett, 1993; Frihat *et al.*, 2012).

1.4. OBJETIVOS DO TRABALHO

O princípio da conservação por arrefecimento de alimentos é reduzir e manter a temperatura dos mesmos de tal forma que permita parar, ou reduzir significativamente, a taxa a que ocorrem as alterações que põem em causa a qualidade do produto (James e James, 2014). Segundo Reid (1999), é possível projetar e controlar de forma conveniente um processo de congelação se se conhecer os mecanismos de dano para cada alimento. Em geral, a preservação durante a congelação está longe de ser perfeita, e a consciência desse facto é necessária para que as técnicas sejam desenvolvidas de forma a superar deficiências conhecidas e assegurar que este método é competitivo com outros métodos de preservação (Rahman, 2007).

O registo dos tempos e temperaturas atingidos pelos alimentos durante o processo de congelação permitiram delinear a tendência de temperatura dos mesmos. Uma vez que os produtos apresentam diferenças em relação ao seu tamanho, densidade, temperatura inicial e composição, é necessário compreender e acompanhar as mudanças de temperatura durante o processo (Rahman, 2007).

O trabalho executado consistiu na implementação de janelas de tempo e temperaturas, através da sistematização dos processos de congelação, para um conjunto de produtos cárneos, tendo em conta as suas características e a forma de acomodação no interior de embalagens (no caso da congelação efetuada em túnel de ar forçado), e das características de gramagem e dimensão do produto (no caso de congelação em túnel espiral).

O trabalho surgiu com o principal objetivo de parametrizar tempos e temperaturas nos dois métodos de congelação efetuados pela empresa, de forma a sistematizar o processo, reduzindo gastos energéticos e garantindo simultaneamente a segurança e qualidade alimentar dos seus produtos.

Para tal, foi efetuado o acompanhamento cuidadoso de ambos os processos, combrindo diversos produtos produzidos na empresa, e avaliando a capacidade de congelação destas técnicas face ao tempo em que estes permaneciam para congelar e às condições de congelação inerentes ao produto e à técnica utilizada, bem como aos procedimentos realizados prévios à congelação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.3. EMPRESA, INDÚSTRIA E RESPETIVAS INSTALAÇÕES

A empresa onde o estágio foi realizado é uma empresa que se dedica ao comércio alimentar, com mais de 30 anos de história. Tem como missão a satisfação das necessidades e expectativas dos clientes através da oferta de produtos de elevada qualidade e serviço de excelência, fazendo parte da sua visão ser parceiro de referência para todos os profissionais do setor alimentar.

É especializada na indústria, comércio e distribuição de produtos secos, refrigerados, congelados e ultracongelados, que tem como trinómio a qualidade-preço-excelência do serviço, sendo este o fator crítico para o seu sucesso. Iniciou a sua história com a comercialização de carnes frescas, em 1984, contando hoje com centenas de colaboradores e várias filiais em diversos pontos geográficos do país.

A empresa possui um espetro alargado de produtos (alguns de marca própria), que faz todos os dias chegar aos seus clientes, através da sua frota equipada com condições que permitem o transporte seguro dos alimentos. Os principais clientes englobam estabelecimentos como hotéis, restaurantes, cafés, bares, pastelarias, retalhistas, grossistas e instituições de serviço público.

No ano de 2008, com vista a alargar a cobertura geográfica e facilitar a logística de distribuição, houve necessidade de criar uma filial em Lisboa, local onde o estágio foi realizado.

Uma vez que a empresa se dedica à comercialização de vários tipos de produtos, conservados utilizando técnicas e procedimentos de diferentes naturezas, tal obriga a diferentes cuidados e cumprimentos de regras e normas estabelecidas. Possuindo a empresa produtos secos, congelados, ultracongelados e refrigerados, com necessidades de armazenamento distintos, estes encontram-se distribuídos por diferentes pisos, de acordo com o esquema representativo da figura 2.1.

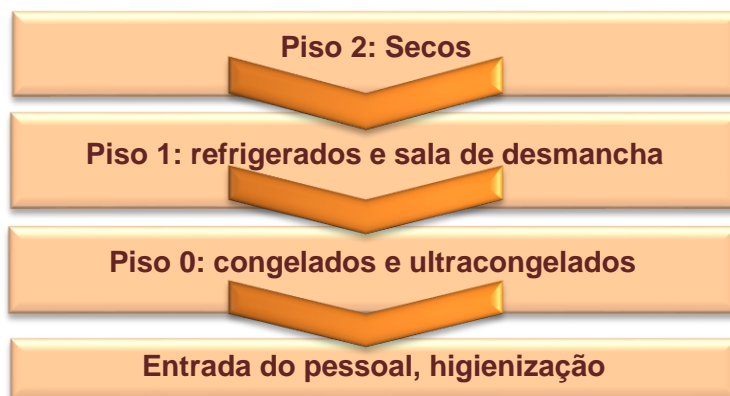


Figura 2.1. – Esquema organizacional dos diferentes pisos da empresa – Filial de Lisboa.

Os armazéns e zona de produção da filial de Lisboa contam com 3 pisos. O piso 0 é o local onde se processa o armazenamento de produtos congelados e ultracongelados, bem como produção artigos congelados numa sala própria para o efeito (Sala de fatiados). Já o piso 1 é dedicado maioritariamente à produção e armazenamento de produtos frescos (constituindo também com produção para posterior congelação no piso 0), bem como refrigerados, enquanto que o piso 2 se dedica ao armazenamento de produtos secos.

No local de entrada existem balneários masculinos e femininos, que permitem aos funcionários a troca e colocação de equipamento que possibilite o acesso às zonas de produção e armazém. Neste local devem ser colocados em cacifos próprios para o efeito, quaisquer objetos que possam interferir na produção e na segurança alimentar, como adornos e objetos pessoais. Os operadores deverão colocar nos cacifos todo e qualquer tipo de acessório que não seja permitido na zona de produção. Deverá proceder-se à colocação de uma touca de forma a cobrir o cabelo, que deverá estar amarrado. O operador que efetue um contacto direto com alimentos deverá posteriormente colocar luvas.

Para a entrada na zona de produção, especialmente em zonas de câmaras de armazenamento e túneis de congelação, é necessária a utilização de equipamento específico para a proteção contra o frio. A figura 2.2 apresenta o equipamento que deve ser utilizado sempre que haja deslocação às zonas mencionadas. É ainda aconselhável, como medida de segurança, a utilização de roupas quentes, bem como utilização de vestuário que cubra as zonas do pescoço e cabeça.

Deverão ser seguidas todas as práticas e normas de higiene consideradas na indústria alimentar, de forma a salvaguardar a segurança dos produtos ali produzidos.



Figura 2.2 - Equipamento de proteção para temperaturas negativas e equipamento complementar.

No mesmo local, próximo aos balneários, existe uma divisão específica que efetua o serviço de lavandaria, permitindo a higienização do fardamento sempre que necessário.

A entrada na zona de produção é efetuada no piso 0. Antes da entrada para os armazéns (local que apenas terá acesso quem possuir um cartão que aciona a abertura de portas), existem lavatórios acionados de forma automática (por enconsto da perna ao manípulo de acionamento), permitindo efetuar a higienização das mãos corretamente. Possui também um dispositivo automático de lavagem de calçado que permite a higienização do mesmo antes da entrada nas zonas de produção. Neste local, existe também um armário onde se encontram disponíveis toucas, necessárias à entrada na zona de produção, e proteção de sapatos, para o caso de se efetuar a entrada com calçado não específico.

2.1.1. PISO 0 (ZONA DE ARMAZENAMENTO E PRODUÇÃO DE CONGELADOS)

O piso 0 destina-se maioritariamente ao armazenamento de alimentos congelados e ultracongelados, estando ainda equipado com um túnel de congelação por ar forçado, monitorizado neste estudo. Conta com um cais de receção e expedição, onde se rececionam os produtos secos, congelados e ultracongelados. Os produtos congelados e ultracongelados deverão ser armazenados consoante a necessidade, nas câmaras disponíveis no mesmo piso, a temperaturas adequadas, até posterior distribuição. Quando são recebidos no cais, os artigos são registados e conduzidos para as câmaras em paletes pelos operadores.

O piso possui ainda uma sala de fatiados, onde ocorre produção de artigos congelados fatiados, equipada com máquinas de corte para diferentes tipos de produto. Nesta sala existem diversas máquinas, entre elas uma máquina de corte de carne em cubos, uma máquina fatiadora (utilizada maioritariamente para a produção de bifanas) e uma serra de corte, usada para o corte de peças de carne congeladas. A sala conta também com uma balança e um equipamento de embalagem a vácuo.

Após o corte de carne nesta sala, e sempre que aplicável, esta pode sofrer um processo de vidragem antes de ser embalada/acondicionada. Este processo de vidragem é efetuado numa cuba de metal com água gelada, previamente arrefecida na antecâmara do túnel de congelação, no mesmo piso. As peças são posteriormente embaladas, pesadas e etiquetadas. As embalagens de cartão tem o seu interior forrado com um plástico, onde posteriormente o produto é colocado, sendo depois seladas com fita cola, numa máquina para o efeito. Após congelação, as embalagens são colocadas numa câmara à temperatura de armazenamento aguardando expedição ou transferência para outra filial.

Pode acontecer, para alguns produtos cortados nesta sala (como o caso das bifanas finas) que sejam vidradas no piso 1, por um equipamento próprio, após a congelação no túnel em espiral, nesse piso.

Quando o produto é destinado à congelação em túnel no piso 0, as caixas são colocadas em estantes, sendo posteriormente colocadas na antecâmara do túnel. Quando o túnel é ligado, o produto é transportado para o seu interior de forma a que ocorra congelação. Este é habitualmente ligado entre as 19 e as 10 horas do dia seguinte, funcionando por um período de 15 horas.

Quando o produto é congelado no piso 0, mas a sua produção é efetuada no piso 1, as caixas com o produto fresco são armazenadas em câmaras de temperatura de refrigeração, no piso 1, sendo depois conduzidas ao túnel no dia em que este for ligado para congelação. Os produtos são deslocados através de um elevador próprio para o seu transporte, em estantes de metal.

2.1.2. PISO 1 (ZONA DE PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE FRESCOS E CONGELADOS)

É no piso 1 que ocorre a produção e armazenamento de produtos frescos, e armazenamento de produtos refrigerados. Neste local é efetuada a sua receção, armazenamento e processamento. Neste piso, existe novamente um cais onde a receção dos produtos frescos é efetuada. É também no mesmo piso que existe um cais de expedição para produtos frescos e refrigerados. O piso conta com uma sala de desmancha onde as carnes entram por via aérea, respeitando as normas legais que impedem o contacto da carne com locais como o chão ou as paredes. Esta pode ser conduzida às câmaras após receção no cais, ou encaminhada para a sala de desmancha, para manipulação imediata.

Ao entrar na sala por via aérea, a carne é conduzida para uma balança fixa, ou é diretamente pesada na balança aérea. Após a pesagem, a carne é conduzida à respetiva bancada de corte a que se destina, já que cada tipo de produto é separado dependendo a sua espécie. Nas bancadas de corte, cada funcionário executa a desmancha, desossa e corte de produtos, rejeitando os subprodutos, que possuem uma câmara própria, e que são recolhidos por uma empresa que se ocupa do seu tratamento, duas vezes por semana.

Após os processos de corte, a carne pode assim ser embalada pelos operadores, para o caso de ser vendida fresca. Cada operador coloca em embalagens uma determinada quantidade de carne. Os tipos de embalagem variam de acordo com o destino que se lhe pretende atribuir. Para o acondicionamento da carne, pode recorrer-se a embalagens a vácuo, a *cuvettes*, bandejas, sacos ou caixas de cartão. Destes, as *cuvettes*, bandejas e embalagens a vácuo são seladas em máquinas distintas que se encontram na sala de desmancha.

Os produtos que são embalados em *cuvettes* e bandejas deverão atravessar o detetor de metais (*Metal Shark – Cassel Metal detector Shark 2*). À saída do detetor de metais um operador é responsável pela pesagem e rotulagem.

Para os produtos que seguirão para congelação no piso 0, as caixas de produto fresco preparadas são de cartão, e deverão ser devidamente etiquetadas e colocadas numa estante de metal. Deste local, ou o produto é diretamente transportado da sala de desmancha para o piso 0, através do elevador, ou permanecerá numa câmara de refrigeração, até à data de congelação que consta no rótulo.

A sala possui diversos equipamentos, entre eles um túnel de congelação, (*Frigoscandia Gyrocompact P42*) utilizado para a preparação de hambúrgueres e bifanas congeladas. Possui ainda uma serra de corte, máquinas de filmagem para colocação dos filmes na embalagem, uma máquina de remoção de pele, uma máquina tenderizadora, aparelhos de deteção de metais (*Metal Shark – Cassel Metal detector Shark 2*), que efetuam o controlo de possíveis fragmentos metálicos que possam contaminar os artigos devido à fragmentação de lâminas de corte em alguns produtos e várias mesas de desmancha consoante a espécie de carne a ser cortada. A sala encontra-se ainda equipada com balanças e mesas de metal.

A sala de desmancha possui uma sala adjacente (sala de picados) onde ocorre a preparação de salsichas, carne picada e hambúrgueres, contando com uma máquina misturadora onde a água, condimentos e carne são homogenizados para a sua preparação. É também nesta sala que acontece a desintegração da carne para os hambúrgueres, através de um equipamento que desintegra a carne congelada em porções mais pequenas, picagem e preparação da massa a ser utilizada nos hambúrgueres, bem como a sua moldagem. A figura 2.3 representa um esquema de funcionamento da máquina de moldagem, juntamente com a cinta de transporte que conecta a mesma à cinta do túnel, que atravessa a sala de picados até à entrada do túnel, na sala de desmancha.

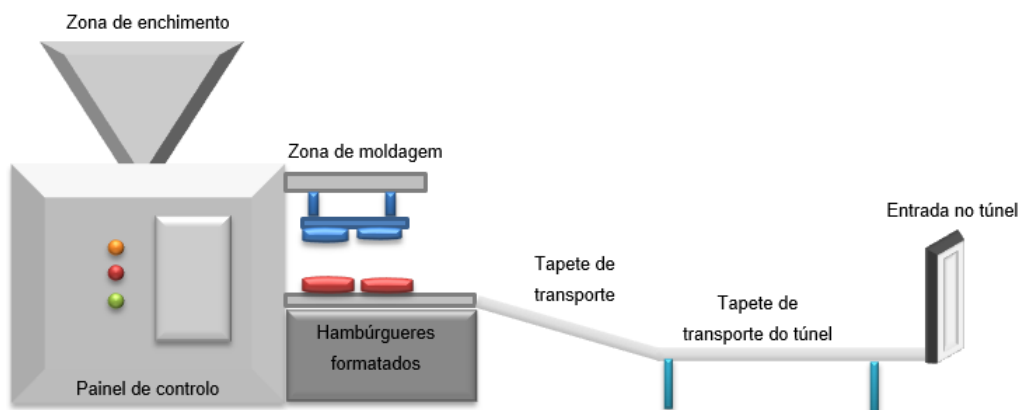


Figura 2.3. Esquema da formação de hambúrgueres e entrada no túnel de congelação em espiral (a figura não se encontra à escala).

Depois de ser efetuada a mistura e moldagem, os hambúrgueres podem depois ser embalados em *cuvettes*, caso sejam destinados a ser vendidos frescos, ou poderão ser conduzidos ao túnel de congelação para preparação de hambúrgueres congelados. Caso se destinem à congelação (sendo esta a prática mais comum), após a moldagem, os hambúrgueres são carregados para dentro do túnel através de uma cinta automática. O produto é carregado para o interior do túnel como mostra a figura 2.4.

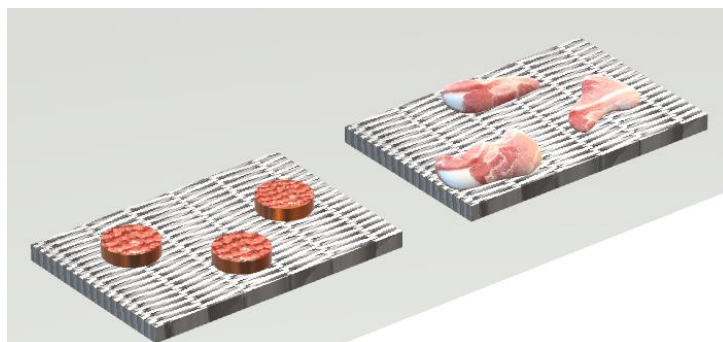


Figura 2.4. Disposição dos hambúrgueres e bifanas na esteira, previamente à sua entrada no túnel de congelação (a figura não se encontra à escala).

Quando saem do túnel, os produtos são separados automaticamente. Um operador exclui os que se encontrem deformados ou que não possuam características que permitam a sua comercialização, para que seja descartado. O hambúrguer é automaticamente embalado em películas plásticas e posteriormente colocado em embalagens de cartão, pesadas, rotuladas, seladas e armazenadas até expedição.

Antes de se iniciar a congelação dos produtos, o túnel deverá ser previamente ligado, de forma a que arrefeça o suficiente para que consiga executar o processo de forma correta e uniforme. O túnel funciona normalmente numa gama de temperaturas de ar de cerca de -20°C e -37°C para a temperatura de evaporação.

Para a congelação de bifanas, efetuada também no túnel de congelação em espiral, o processo é ligeiramente diferente. A carne destinada ao corte em bifanas entra na sala de desmancha, e deverá ser colocada em caixas de plástico para para sofrer um processo de choque térmico numa câmara destinada para o efeito, onde não deverão permanecer mais do que sete horas. Após sofrer uma quebra elevada de temperatura, a carne deverá ser retirada e conduzida a uma câmara de refrigeração, de forma a estabilizar a temperatura, para permitir o corte em fatias. Esta quebra de temperatura oferecida pelo choque térmico permite que a carne endureça, de forma a que seja possível que as lâminas da máquina de corte consigam efetuar a operação.

Após este processo, a carne é conduzida para a sala de fatiados, no piso 0, onde é cortada e acondicionada em caixas de plástico, com uma temperatura de cerca de -1°C . Depois do processo estar concluído, esta é conduzida novamente para o piso 1, onde é introduzida manualmente no tapete do túnel de congelação em espiral, que irá efetuar a sua congelação. Depois de sair do túnel, a bifana já congelada atravessa um tapete que a conduz a uma máquina que realiza a vidragem, por dispersão de água gelada sobre o alimento. Estas são recolhidas em caixas de plástico, para serem posteriormente embaladas em caixas de cartão, devidamente forradas a plástico. São depois etiquetadas e acondicionadas no piso 0, numa câmara de armazenamento de congelados, até expedição. A figura 2.5. apresenta um esboço do túnel de congelação em espiral *Frigoscandia Gyrocompact P42* em funcionamento, incluindo a zona de entrada do produto (conectada com a sala de picados), e a zona de saída do produto.

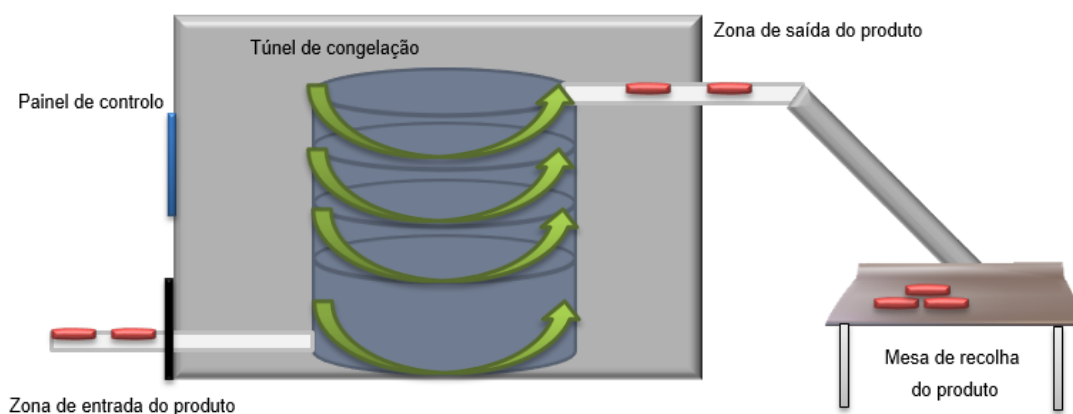


Figura 2.5. – Esboço do funcionamento do túnel de congelação em espiral *Frigoscandia Gyrocompact P42* (a figura não se encontra à escala).

Na sala de picados, onde ocorre a preparação dos hambúrgueres de diferentes gramagens, ocorre também a preparação de salsichas e carne picada. As salsichas são preparadas através da picagem da carne, mistura e posterior enchimento da tripa numa máquina que se destina a este propósito. A carne picada é picada duas vezes na máquina de picagens,

sendo posteriormente colocada manualmente em sacos, que serão selados a vácuo e etiquetados, para sofrer congelação no túnel de circulação de ar no piso 0.

2.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

2.2.1. TÚNEL DE CONGELAÇÃO EM ESPIRAL FRIGOSCANDIA GYROCOMPACT P42

O túnel de congelação *Frigoscandia Gyrocompact P42* é utilizado pela empresa para a congelação de hambúrgueres de diferentes gramagens, bem como para bifanas de gramagem fixa.

O equipamento conta com uma zona de entrada do produto (que se encontra na sala de picados), um limitador de altura do produto, uma espiral, um evaporador, ventiladores, uma zona de saída do produto, um raspador, uma unidade de acionamento de saída do produto, um painel de controlo, um acionamento da cinta e um tensor.

Após a formação de hambúrgueres com as dimensões desejadas, por uma máquina de molde que efetua a formatação, estes são colocados na zona de entrada do produto. Os produtos que atinjam o limitador são considerados demasiado altos, e são desta forma detidos pelo limitador de altura.

Os produtos adequados são transportados pela cinta através do túnel, que forma uma espiral que ascende verticalmente. Os ventiladores fazem circular ar através na espiral formada pela cinta, retornando posteriormente ao evaporador.

Quando a cinta abandona a espiral, os produtos saem do túnel através da zona de saída do produto. Para separar os produtos da cinta, é incorporado um raspador. A unidade de acionamento de saída proporciona o esforço necessário para separar os produtos congelados da cinta de transporte.

O funcionamento do túnel de congelação é controlado através do painel. O tempo de congelação e de temperatura do ar e de evaporação são indicados digitalmente. O estado do túnel, tal como a cinta em andamento, o funcionamento dos ventiladores e de outras peças do túnel é mostrado através de um painel de diagnóstico no equipamento. A figura 2.6. representa esquematicamente o túnel e todas as suas unidades de funcionamento.

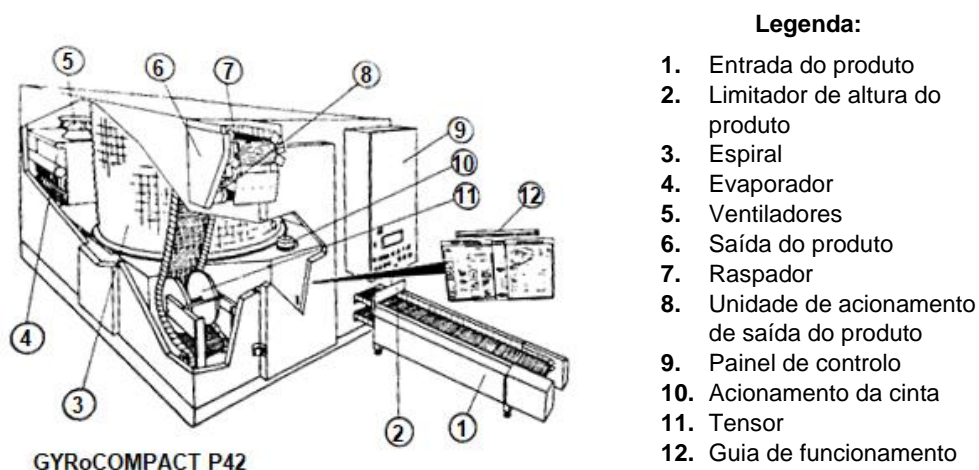


Figura 2.6. Túnel de congelação *Frigoscandia Gyrocompact P42* (Fonte: adaptado do manual de instruções do equipamento).

A cinta entra no túnel desde a zona de entrada de produto, sendo carregada sobre os vagões. Esta vai circulando em espiral desde a parte inferior até ao topo, rodeando o anel de fricção. A espiral e os vagões rodeiam o anel desde a parte inferior. Um motor de acionamento conectado com a caixa de engrenagens aciona a cinta mediante a roda dentada principal e a cadeia de acionamento que se acopla com os dentes dos vagões.

A tabela 2.1. apresenta as características do túnel de congelação *Frigoscandia Gyrocompact P42*, existente na sala de desmancha da empresa. A velocidade do tapete existente no túnel pode ser alterada, permitindo uma adaptação de tempo de congelação de acordo com a variabilidade do produto.

Tabela 2.1. Especificações do túnel de congelação *Frigoscandia Gyrocompact P42* (adaptado do manual do equipamento).

Características de congelação do túnel <i>Frigoscandia Gyrocompact P42</i>	
Tipo de tapete	Frigobelt de malha em aço inoxidável
Largura efetiva do tapete	375 mm
Número efetivo de espiras	22
Comprimento total efetivo do tapete	149,6 m
Superfície efetiva de tapete por espira	2,1 m ²
Velocidade do tapete	Variável entre 2 e 18 m/min
Altura entre as espiras	90 mm
Altura máxima dos produtos	75 mm
Consumo normal	14 KW
Potência instalada	19,2 KVA
Potência frigorífica máxima desenvolvida pelo evaporador	98000 Kcal/h
Refrigerante	R717 (amoníaco)

De acordo com o manual do aparelho, este sugere um conjunto de alimentos que podem ser congelados, nomeando, entre vários, um semelhante ao que é congelado na empresa: os hambúrgueres. A tabela 2.2. enumera várias características associadas ao processo de utilização do túnel de congelação neste alimento, como exemplo de utilização.

Tabela 2.2. Especificações do manual do equipamento *Frigoscandia Gyrocompact P42* relativamente à congelação de hambúrgueres de 75 gramas (Fonte: adaptado do manual do equipamento).

Produto	Hambúrgueres
Peso unidade	75 gramas
Dimensões médias	Dia. 100x10 mm
Temperatura de entrada	0°C
Temperatura de saída	(-)20°C
Entalpia total do produto	67 Kcal/Kg
Carga do tapete	18,75 hambúrgueres por metro de tapete
Ocupação do tapete	48%
Tempo de congelação	20 minutos
Peso do produto por metro no tapete	1,4 Kg
Carga por espira/hora	28,56 Kg
Velocidade do tapete	7,5 m/min
Capacidade de congelação	630 Kg/h
Potência frigorífica total necessária	70000 Kcal/h

O túnel de congelação é utilizado na empresa com a finalidade de proceder à congelação de dois tipos distintos de produtos: hambúrgueres e bifanas finas extra. Ao contrário das bifanas finas extra, o leque existente para as gramagens de hambúrgueres que são comercializados é variado. Assim, é necessária uma adaptação de tempo de permanência do produto no túnel, face ao diferente peso e conseqüente diferença nas características de congelação. A tabela 2.3. apresenta os tempos definidos pela empresa como sendo os necessários para a congelação.

Tabela 2.3. Produtos, tempos e temperaturas estipulados pela instrução da empresa, para a congelação em túnel de congelação espiral (adaptado da instrução da empresa).

Tipo de produto	Tempo de permanência do túnel (min)	Temperatura do ar (°C)
Hambúrguer de 80g a 120g	50	entre -19 e -25
Hambúrguer de 160g a 200g	60	entre -19 e -25
Bifana fina e bifana fina extra	30	entre -17 e -21

As temperaturas do ar do túnel e tempos de congelação, para a diferente gama de produtos, constam na instrução da empresa, como modelo que deverá ser seguido. As normas estipuladas para a congelação encontram-se dentro dos limites sugeridos pelo manual de utilização do aparelho, sendo sugerido que para um alimento com 75 gramas, o produto permaneça no interior do túnel por 20 minutos.

Por coerência, com o aumento da gramagem do artigo, recorre-se também a um maior período de permanência no túnel, de forma a garantir que um produto de maior massa possa atingir o mesmo nível de congelação de um produto de menor massa.

2.2.2. TÚNEL DE CONGELAÇÃO POR AR FORÇADO

O túnel de congelação por ar forçado localiza-se no piso 0. Adjacente ao túnel de congelação, existe uma câmara de armazenamento de congelados: a antecâmara do túnel. Esta é contígua ao túnel, sendo os dois locais separados por uma porta isolante. Neste local são colocados artigos que ainda não sofreram congelação, ou artigos que sofreram congelação e aguardam transporte para câmaras de conservação.

O túnel dispõe de uma porta isolante com um manípulo exterior e interior de segurança. Entre a antecâmara do túnel e o túnel de congelação existe uma outra porta isolante, de forma a manter a temperatura do túnel constante enquanto este se encontra em funcionamento. No interior do túnel, as paredes encontram-se revestidas por um material isolante, que permite manter a temperatura. No topo, o túnel dispõe de um conjunto de evaporadores que efetuam a dispersão de ar frio, que circula por toda a sala, permitindo a congelação dos produtos através circulação de ar frio.

Os produtos podem ser dispostos no interior do túnel de duas maneiras distintas: em estantes metálicas de vários andares, ou em paletes de plástico. No entanto, a congelação recorrendo a estantes metálicas é a forma mais comum de efetuar o processo.

O painel de controlo do túnel encontra-se localizado no exterior, na parede junto à porta de entrada para a antecâmara. É neste painel que são controladas as ações “ligar” e “desligar”, tal como mostra a figura 2.7.



Figura 2.7. Painel de controlo do túnel de congelação do piso 0.

A sua temperatura no interior é controlada por uma sonda que efetua a medição da temperatura do ar (sonda de temperatura de ar do túnel), e que envia registos para um computador que se encontra numa sala de apoio, podendo estes dados ser descarregados (Sistema de controlo de frio AKO). Os registos efetuados para o computador na sala de apoio

são os mesmos que surgem no painel de controlo exterior ao túnel. A figura 2.8. apresenta um esboço do túnel de congelação em funcionamento.

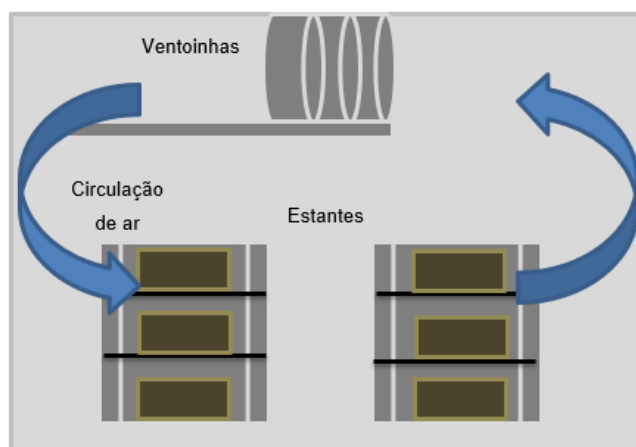


Figura 2.8. Esquema de funcionamento do túnel de congelação por ar forçado (a figura não se encontra à escala).

2.2.3. MEDIDORES DE TEMPERATURA

Por forma a efetuar o registo de temperaturas durante as diversas etapas do processo prévio e posterior à congelação, foi utilizado um termómetro com sonda de perfuração, da marca *HANNA Pronto Plus HI99556*, com um erro associado de $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

O termómetro efetua o registo quer através da sonda, recorrendo para isso ao botão no dispositivo que permite obter a temperatura de perfuração, quer por leitor ótico infravermelho, que se encontra no topo do termómetro. Para leitura por infravermelhos, basta estabelecer contacto entre a zona de leitura na zona superior do termómetro e o produto, não sendo necessário selecionar nenhum botão (a leitura por infravermelho é automática). O aparelho consegue fazer a leitura de 1/3 da área do alimento, relativamente à distância a que o seu leitor ótico se encontra do mesmo.

Na figura 2.9 encontra-se representada a figura do termómetro utilizado para medições de temperatura.



Figura 2.9. Termómetro *HANNA Pronto Plus HI 99556*, com leitura por infravermelhos e sonda de perfuração, utilizado nas medições de temperatura (Fonte: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=647>).

Uma vez que o termómetro não possui memória interna, este não regista os dados lidos. Assim, é necessário tomar nota das temperaturas por ele medidas.

A figura 2.10 apresenta o *datalogger* e a sonda de perfuração utilizadas na monitorização efetuada para a congelação em túnel por ar forçado.



Figura 2.10. *Datalogger* Testo 175T2, e sonda de perfuração, utilizados nas medições de temperatura para a congelação em túnel de ar forçado. (Fonte: <https://www.testo.com/pt-PT/>).

No painel do *datalogger*, surge na parte superior do ecrã a temperatura registada para o ar envolvente, e na parte inferior a temperatura registada pela a sonda de perfuração, quando esta se encontra acoplada ao aparelho. O botão “Go”, assinalado no painel frontal do dispositivo, permite iniciar a leitura caso o aparelho seja previamente programado para ser controlado com este botão.

Uma vez que a maioria dos registos eram efetuados durante a noite (período no qual o túnel se encontrava em funcionamento), o *datalogger* era ativado por programação prévia, sendo programada a hora a que se pretendia que o mesmo iniciasse a medição. A figura 2.11. apresenta o *software* utilizado para a programação do *datalogger*.



Figura 2.11. Imagem do software *Testo Software Comfort Basic 5.0*, para programação da sonda de temperatura.

2.3. MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO TÚNEL DE CONGELAÇÃO EM ESPIRAL

De forma a proceder à validação do túnel de congelação em espiral, foi necessário acompanhar todo o processo de produção do produto até à fase de congelação em túnel. Assim, foram acompanhadas diferentes gramagens de hambúrguer e ainda bifanas.

Para tal, a temperatura dos produtos foi medida utilizando um termómetro *HANNAH Pronto Plus HI 99556*. Para produtos que ainda não tinham sofrido processo de congelação, a temperatura foi sempre medida com a sonda de perfuração associada ao termómetro, sendo inserida cerca de 1 cm sob a superfície do produto. Para as bifanas, atravessava-se a sonda do termómetro num conjunto de três bifanas.

Para os hambúrgueres, realizava-se uma medição de temperatura à entrada da sala de picados. Posteriormente, a sua temperatura era novamente medida após o processo de 2ª picagem (a 1ª ocorre geralmente um dia antes do processo de produção de hambúrgueres), onde ocorre a sua mistura com os restantes ingredientes em falta e a água. Este passo revelou-se fundamental já que a água e produtos adicionados podem ter influência na temperatura da mistura.

Após esta medição, a mistura era homogeneizada na máquina de formatação. Após a moldagem em formato de hambúrguer, os mesmos eram distribuídos sobre uma esteira. Já na esteira, a temperatura era medida sempre no hambúrguer que era formatado em primeiro lugar. O esquema representado na figura 2.12 demonstra a técnica de medição utilizada após a formatação do hambúrguer.

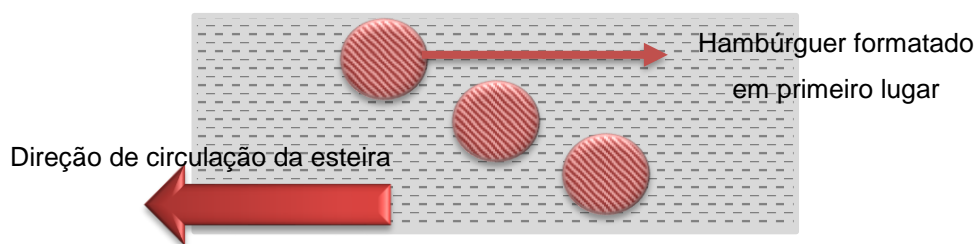


Figura 2.12. Vista da esteira com hambúrgueres em distribuição (a figura não se encontra à escala).

Após a medição da temperatura, era iniciada a contagem do tempo. O hambúrguer que serviu para a medição de temperatura foi novamente colocado na máquina formatadora, para nova formatação.

Após a entrada do produto no túnel, através da leitura do painel de controlo, era registada a temperatura do ar, e a temperatura de evaporação (manualmente no visor do equipamento), com um intervalo entre as medições de cinco minutos.

Quando se registava a primeira saída do produto, era registado o tempo, sendo a temperatura do hambúrguer posteriormente medida, desta vez com o infravermelho do termómetro, já que a perfuração do produto recorrendo à sonda não era possível, devido ao facto do mesmo se encontrar congelado.

Relativamente às bifanas, antes da congelação, a temperatura era medida por perfuração, num conjunto de três bifanas alinhadas, de forma a obter uma temperatura de centro térmico do produto. Após medição, o produto era imediatamente colocado na esteira de transporte, onde se iniciava a contagem do tempo, bem como o registo de temperatura do ar e de evaporação do túnel, tal como efetuado para os hambúrgueres (em intervalos de 5 minutos). À saída do túnel, o produto sofria uma nova medição de temperatura, por leitura utilizando o leitor de infravermelhos, devido à impossibilidade de efetuar perfuração.

Para ambos os produtos, era necessário que a temperatura de entrada não excedesse os 2°C (no caso da carne picada), e 5°C para as bifanas, enquadrando-se os valores com o apresentado no Decreto-Lei nº147/2006, que aprova o Regulamento das Condições Higiénicas e Técnicas a Observar na Distribuição e Venda de Carnes e Seus Produtos. Na saída do produto do túnel, era necessário que o mesmo terminasse o processo com uma temperatura de pelo menos - 18°C, podendo a temperatura ser mais baixa do que este valor.

Os valores recolhidos para a temperatura do ar e do túnel foram registados, bem como o tempo de circulação do produto no túnel. Foram também registadas as temperaturas de entrada e saída dos artigos.

Com os valores obtidos, foram traçadas retas de tendência (considerando que, segundo a tendência apresentada na figura 1.7, a descida de temperatura do artigo após passagem pelo ponto de remoção do calor latente de fusão é constante (linear)). Tendo em conta a temperatura

de entrada e saída do produto, e através da equação da reta, foi possível deduzir quanto tempo seria necessário para que o produto atingisse os -18°C .

Os valores da temperatura do ar e do túnel permitiram traçar janelas de temperatura para enquadrar a aplicação da metodologia de congelação, sendo possível assumir a sua influência na variação de temperatura do produto ao longo do processo.

2.4. MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO TÚNEL DE CONGELAÇÃO POR AR FORÇADO

Com o objetivo de validar o túnel de congelação localizado no piso 0, procedeu-se à execução de uma metodologia que envolveu o acompanhamento da temperatura dos produtos, desde a sua produção até à etapa de congelação. Para tal, as temperaturas das várias fases de produção foram medidas, recorrendo ao termómetro de perfuração. As temperaturas dos produtos foram registadas sempre com recurso à sonda de perfuração do termómetro (sendo o artigo perfurado cerca de 1cm abaixo da sua superfície), salvo quando a sua temperatura já se apresentava demasiado baixa (temperaturas abaixo dos -5°C) para recorrer a este método. Nestas ocasiões, era utilizado o termómetro de medição por contacto, recorrendo à leitura por infravermelho.

Para o acompanhamento dos produtos, foi tido em conta o fluxograma de produção da empresa para os produtos congelados, permitindo o acompanhamento das várias etapas a que os mesmos eram sujeitos, prévias à congelação.

Para efetuar a monitorização das temperaturas durante o período de congelação em túnel, recorreu-se à sonda de temperatura modelo *Testo 175T2*. A sonda era previamente programada num *software* específico *Testo Comfort Software Basic 5.0*, que permite a definição de medição para datas e horas previamente definidas.

Assim, o *datalogger* era previamente programado, a sonda devidamente desinfetada e posteriormente colocada em contacto com o alimento antes da sua entrada no túnel, de forma a que a sonda se adaptasse à temperatura do produto.

A medição foi efetuada de duas formas: através de perfuração direta da carne (quando esta apenas se encontrava embalada em caixas de cartão), e por contacto com o produto embalado (no caso de a carne se encontrar embalada a vácuo), tal como identifica a figura 2.13.



Figura 2.13. Posição da sonda relativamente (à esquerda) ao centro térmico do produto e (à direita) ao contacto com a embalagem a vácuo contendo o produto para congelação (a figura não se encontra à escala).

O procedimento foi efetuado desta forma já que nem sempre foi possível a colocação da sonda em contacto direto com o centro térmico do produto, por este se encontrar embalado a vácuo, de forma a não danificar o produto. No entanto, foi garantido que a sonda era completamente envolvida pela embalagem, de forma a simular uma maior proximidade ao centro térmico do produto. Desta forma, a sonda encontrava-se completamente isolada pelo produto que sofria a medição, tendo apenas a separação do filme como barreira.

Após a colocação da sonda, a caixa onde o artigo se encontrava embalado era selada com fita cola, do mesmo modo que se encontravam as outras caixas. O *datalogger*, aparelho ao qual se liga a sonda e obtém os valores de temperatura do ar, era colocado fora da caixa, ficando o fio a estabelecer ligação entre a sonda e o aparelho, tal como ilustra o esquema da figura 2.14. A caixa era devidamente identificada como produto de teste.

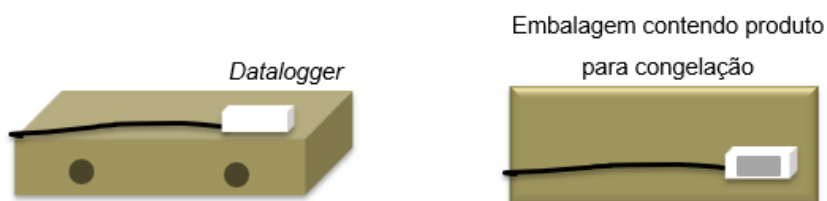


Figura 2.14. Posição do *datalogger* relativamente á caixa contendo o produto para congelação (a figura não se encontra à escala).

O *datalogger* era posteriormente colocado sobre a caixa de cartão, na estante de metal. As caixas, dispostas na estante, apresentavam uma disposição semelhante à que se pode observar na figura 2.15.

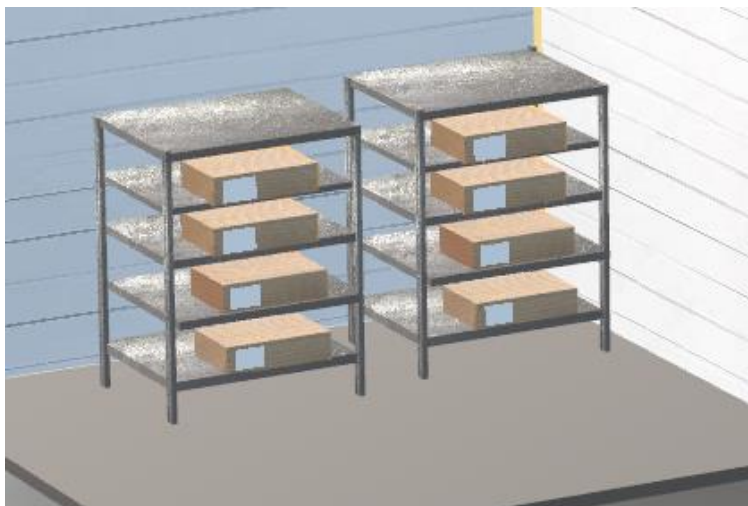


Figura 2.15. Disposição da estante e das caixas de cartão contendo produto para congelação (a figura não se encontra à escala).

A sonda era retirada no dia seguinte à congelação. Nos dias em que a congelação era efetuada no final da semana, a sonda era retirada no início da semana seguinte, sempre no período da manhã. Os dados da sonda eram imediatamente descarregados. A caixa do produto que sofria a medição era selada convenientemente e colocada novamente junto dos outros produtos. A sonda era devidamente desinfetada, até nova utilização.

Os dados recolhidos para o ar ambiente, registados pelo *datalogger*, foram comparados com os registos do túnel de congelação, por forma a validar os valores registados pelo aparelho.


Após este processo, foram estimados os tempos necessários para que os produtos atingissem uma temperatura de -12°C .

2.5. TRABALHO DESENVOLVIDO NA EMPRESA

O estudo efetuado consistiu na obtenção de um perfil de temperaturas de artigos cárneos produzidos na Sala de Desmancha, ao longo do tempo em que estes permaneceram em congelação no túnel de congelação por ar forçado, e no túnel de congelação em espiral, desde que o produto deu entrada no processo, até à sua retirada.

A tabela 2.4 resume a utilização dos aparelhos de medição de temperatura, para as diferentes técnicas de congelação acompanhadas.

Tabela 2.4. Técnicas de congelação e técnicas de medição de temperaturas utilizadas, respetivamente, para a congelação em túnel por ar forçado e em túnel em espiral.

	Túnel de congelação por ar forçado	Túnel de congelação espiral
<i>Datalogger Testo T1175T2</i>	Colocado em contacto com o centro térmico / centro do conteúdo da embalagem	
<i>Termómetro HANNA Pronto Plus HI 99556</i>	Leitura no início e no fim da congelação	Leitura no início e no fim da congelação

Antes do início das medições, foram analisados os fluxogramas de produção da empresa. Os artigos que sofrem congelação na empresa foram selecionados, tendo sido separados consoante o método utilizado (congelação em túnel espiral e congelação em túnel de ar forçado).

Após a organização dos artigos por método de congelação, foi selecionado, para o túnel de congelação por ar forçado, o conjunto de produtos que mais regularmente sofria congelação.

Dos artigos congelados em túnel de congelação em espiral, foram acompanhados os seguintes:

- **Hambúrguer:** Para as medições efetuadas no centro térmico, prévias à congelação, foi colocada a sonda do termómetro de forma a atravessar o hambúrguer no seu centro térmico. Após congelação, a temperatura foi medida através do contacto da superfície do produto congelada com a zona de leitura por infravermelho do termómetro.
Foram feitos testes para várias gramagens do produto, tendo sido acompanhado produto de 80g bovino, 100g bovino, 200g bovino charolês, e 100g suíno.
- **Bifanas finas extra:** Para as medições efetuadas no centro térmico, prévias à congelação, foi colocada a sonda do termómetro de forma a atravessar três bifanas consecutivas (de forma a contactar com o seu centro térmico). Após congelação, a temperatura foi medida através do contacto da superfície do produto com a zona de leitura por infravermelho do termómetro.

O estudo foi efetuado a um dos produtos correspondente ao lote em produção naquele dia, sendo o artigo submetido exatamente ao mesmo tipo de tratamento que os restantes artigos em produção.

Dos artigos congelados em túnel por ar forçado foram acompanhados:

- ***Cubos de carne congelados:*** Por cada caixa de cartão, foram colocadas três embalagens a vácuo, contendo cada uma aproximadamente 2kg. Uma vez que o produto se encontra embalado a vácuo, não foi possível colocar a sonda em contacto com o centro térmico com o produto. Deste modo, a sonda foi colocada entre a segunda e a terceira caixa, sendo acomodada à embalagem de vácuo (a embalagem ficou a envolver a sonda), de forma a obter um valor o mais próximo possível ao registado no centro térmico do produto.
- ***Carne para picar congelada:*** Por cada caixa de cartão, foram colocadas aproximadamente 3 kg de produto. A sonda foi colocada em contacto com o seu centro térmico.
- ***Carne para guisar congelada (novilho e bovino):*** Por cada caixa de cartão, foram colocadas três embalagens a vácuo de aproximadamente 2 kg. Uma vez que o produto se encontra embalado a vácuo, não foi possível colocar a sonda de perfuração em contacto com o centro térmico, já que tal danificaria o produto. Deste modo, a sonda foi colocada entre a segunda e a terceira embalagem a vácuo, sendo acomodada à embalagem, de forma a obter um valor o mais próximo possível ao registado no centro térmico do produto. Após remoção da sonda da caixa, a temperatura da embalagem a vácuo (embalagem do meio) foi medida e registada com o termómetro por infravermelho, (devido à impossibilidade de perfurar o produto).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RESULTADOS RELATIVOS AOS DADOS RECOLHIDOS PARA OS ARTIGOS CONGELADOS EM TÚNEL DE CONGELAÇÃO EM ESPIRAL

Foi efetuado, para cada produto, um conjunto de medições que permitissem validar o processo de congelação em túnel espiral. Com os dados recolhidos dessas medições, obteve-se um perfil de temperaturas finais de congelação, que permitiu assim estipular o tempo necessário para congelar os artigos por este tipo de processo, tendo em conta variáveis como o tempo de permanência do artigo no túnel, e a temperatura de entrada e saída do produto. Foi também possível comparar a taxa de congelação para cada artigo, dependendo da sua gramagem.

No geral, os hambúrgueres deverão, segundo o estipulado pela instrução, ser congelados no túnel quando este apresentar temperaturas entre os - 19°C e os - 25°C. Já as bifanas, necessitam de uma temperatura do ar entre os - 17°C e os - 21°C. Assim, é necessário que o túnel seja ligado cerca de 45 minutos antes de iniciar a congelação, de maneira a que arrefeça o suficiente para que este seja efetuada com sucesso e de forma eficiente.

Todos os artigos congelados em túnel espiral, deverão atingir os - 18°C (sendo considerados ultracongelados). A temperatura encontra-se enquadrada no Decreto-Lei 207/2008 de 23 de outubro.

O número de avaliações efetuadas por produto dependeu da frequência no planeamento dos artigos para congelação, sendo por isso diferentes, em função do tipo de produto acompanhado. A tabela 3.1. apresenta o número de medições de temperatura que foram efetuadas para cada grupo de artigos, pelo método de congelação em túnel de espiral.

Tabela 3.1. Número de medições de temperatura efetuadas à temperatura dos artigos, por gramagem.

Produto	Hambúrguer bovino 80 gramas	Hambúrguer bovino 100 gramas	Hambúrguer bovino 200 gramas	Hambúrguer suíno 100 gramas	Bifanas finas extra
Número de acompanhamentos	3	3	3	3	6

Os valores de tempo estipulados foram arredondados, de forma a obter valores que permitissem uma adaptação real à circunstância de congelação. Deste modo, e de forma a garantir segurança nos resultados, sempre que o valor estimado de tempo se encontrasse acima do valor de minutos às unidades, arredondou-se o valor para o limite superior (p.e. se a técnica estima 2:40 segundos, considera-se 3 minutos para garantir que o processo é concluído com margem de segurança).

3.1.1. HAMBÚRGUER

O produto hambúrguer foi acompanhado, tendo-se procedido à avaliação do mesmo para várias gramagens produzidas na filial. A variação de gramagens permitiu avaliar a influência desta característica relativamente ao tempo necessário para a sua congelação. Foram avaliadas as seguintes gramagens: 80, 100 e 200 gramas. Para o produto de 100g, foram avaliados produtos com carnes de origens distintas (suíno e bovino).

A empresa definiu uma instrução onde se considera que para a correta congelação utilizando esta técnica, a temperatura do ar deve encontrar-se entre os - 19° e os - 25°C, não se estabelecendo um valor limite para a temperatura do túnel. Já o artigo, deverá atingir a temperatura de - 18°C no seu centro térmico (como estipulado pelo Decreto-Lei 207/2008 de 23 de outubro), na conclusão do processo de congelação (ou uma temperatura mais baixa, que permita que enquanto embalado e conduzido às câmaras para conservação, mantenha a temperatura dentro dos limites, evitando perdas de qualidade dos artigos (Phimolsiripol *et al.*, 2008)). Encontra-se igualmente estipulado que este tipo de produto com esta gramagem deva permanecer no seu interior por um período entre 50 a 60 minutos.

3.1.1.1. HAMBÚRGUER BOVINO 80 GRAMAS

A figura 3.1. apresenta os resultados obtidos para o hambúrguer bovino de 80 gramas, para três acompanhamentos distintos em três dias diferentes, em condições de congelação semelhantes.

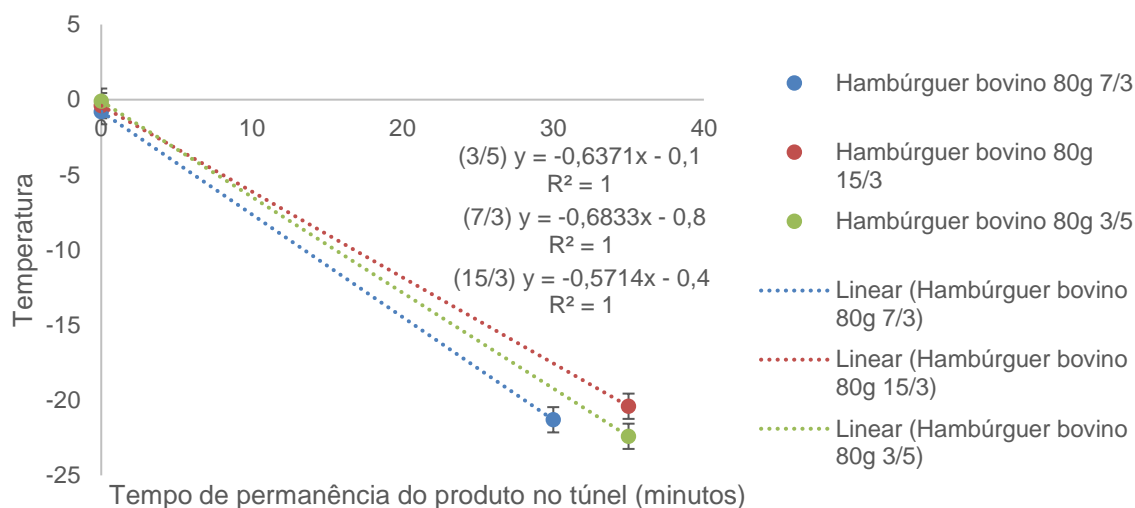


Figura 3.1. Registo das temperaturas do artigo hambúrguer bovino 80 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 7 e 15 de março, e 3 de maio).

Através das equações de regressão linear apresentadas na figura 3.1., procedeu-se aos cálculos do tempo necessário para que se atingisse a temperatura de -18°C no seu centro térmico. Obtiveram-se os seguintes resultados:

- Para o hambúrguer analisado no dia 7 de março, obteve-se um tempo de 28 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C);
- Para o hambúrguer analisado no dia 15 de março, obteve-se um tempo de 31 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C);
- Para o hambúrguer analisado no dia 3 de maio, obteve-se um tempo de 28 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C).

Foi efetuado o valor médio, tendo-se obtido um valor de 29 minutos (com um desvio padrão de 1 minuto).

Assim, estabelece-se, tendo em conta o desvio padrão, que são necessários **30 minutos** para que o produto efetue congelação.

Na instrução da empresa, para este tipo de produto e gramagem, estimou-se anteriormente um tempo de congelação de 50 minutos. No manual de instruções do aparelho, para um hambúrguer de 75 gramas, consta um tempo de 20 minutos. Assim, foi possível

enquadrar o tempo de congelação próximo do valor estipulado no manual, para uma gramagem próxima, e significativamente afastado ao estipulado na instrução (estipulando a mesma um valor de permanência no túnel significativamente mais elevado). Segundo Mascheroni (2012), para produtos com uma altura entre os 1,5 cm e os 2,25 cm, estimam-se que sejam necessários, entre 28 a 44 minutos para que a sua congelação seja efetuada corretamente (atingindo -18°C no centro térmico). Ainda segundo Ciobanu (1976), é possível que produtos deste tipo (hambúrgueres não cozinhados) demorem cerca de 12 minutos a serem congelados pelo método. No entanto, o ensaio realizado não utiliza o mesmo equipamento, sendo assim um fator que limita as comparações para os tempos de congelação obtidos. De acordo Evans (2009), o tempo necessário para a congelação de hambúrgueres da mesma gramagem à acompanhada foi de 22 minutos (aproximadamente). Segundo o autor, que utilizou outras técnicas de congelação de forma a poder comparar a sua eficiência, esta foi a técnica que apresentou uma menor desidratação do produto. Pode assim concluir-se que existem diferentes tempos estipulados, apesar da mesma gramagem, já que os equipamentos possuem diferentes características.

A tabela 3.2. apresenta a compilação de resultados do cálculo dos valores de tempo necessários para que os produtos atinjam -18°C no seu centro térmico, segundo as equações de reta retiradas da reta de tendência da figura 3.1., para o artigo hambúrguer bovino 80 g, bem como as temperaturas de entrada e saída dos produtos que foram registadas. A tabela apresenta ainda o tempo médio estipulado.

Tabela 3.2. Tabela resumo com os valores de temperatura de entrada e de saída do artigo do túnel, tempo de congelação, média do tempo estimado para a congelação e média das extrapolações efetuadas para -18°C .

Hambúrguer 80g bovino					
Número do teste	T (entrada) $^{\circ}\text{C}$	T (saída) $^{\circ}\text{C}$	Tempo efetivo dentro do túnel de congelação	Média tempo estimado no túnel (minutos)	Tempo médio extrapolado da reta de tendência para -18° (minutos) – tendo em conta o desvio padrão
Teste 1 (7/3)	$-0,8 \pm 0,8$	$-21,3 \pm 0,8$	31	28	31
Teste 2 (15/3)	$-0,4 \pm 0,8$	$-20,4 \pm 0,8$	35	31	
Teste 3 (3/5)	$-0,1 \pm 0,8$	$-22,4 \pm 0,8$	35	28	

A figura 3.2 apresenta os valores de temperatura do ar e do túnel, para o mesmo artigo apresentado na figura 3.1.

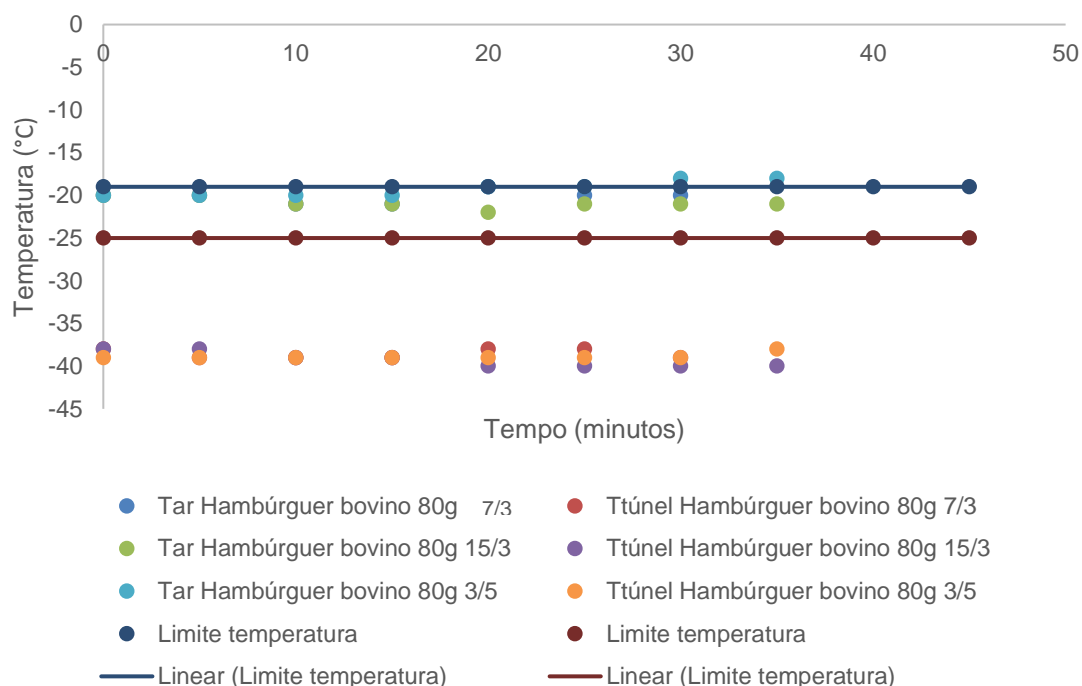


Figura 3.2. Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer bovino 80 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 7 de março, 15 de março e 3 de maio, onde Tar representa a temperatura do ar, Ttúnel a temperatura do túnel e Limite temperatura as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).

Segundo os dados apresentados na figura 3.2., os valores obtidos para a temperatura do ar registados encontraram-se sempre dentro dos limites estabelecidos para este produto, tendo o valor mais afastado sido registado para o artigo acompanhado no dia 3 de maio. Tal não demonstrou uma influência direta na temperatura do produto, já que esta se registou dentro dos limites de estipulados para o final do processo de congelação do produto (- 18°C).

A temperatura de entrada (sempre com valores abaixo dos 0°C), pode ter contribuído de forma significativa para que o produto atingisse rapidamente a temperatura de congelação, e saísse do túnel com temperaturas conformes dentro dos parâmetros pretendidos. Quanto mais alto o valor de temperatura, maior será o tempo que leva para que esta seja reduzida (existindo mais calor para ser retirado ao alimento) (Colla e Prentice-Hernández, 2003). Assim, e segundo a FAO, um valor mais baixo de temperatura reduz o tempo necessário para que o processo de congelação finalize. O facto da temperatura do ar e do túnel se encontrarem dentro dos valores estipulados permite também criar um enquadramento que conduz à diminuição do tempo de congelação relativamente ao estipulado pela instrução da empresa, uma vez que estes factores afectam em grande extensão, entre outros, a velocidade de congelação de um produto (Mallet, 1993).

3.1.1.2. HAMBÚRGUER BOVINO 100 GRAMAS

A figura 3.3. apresenta os resultados obtidos para o hambúrguer bovino de 100g, para três medições distintas em três dias diferentes, nas mesmas condições de congelação.

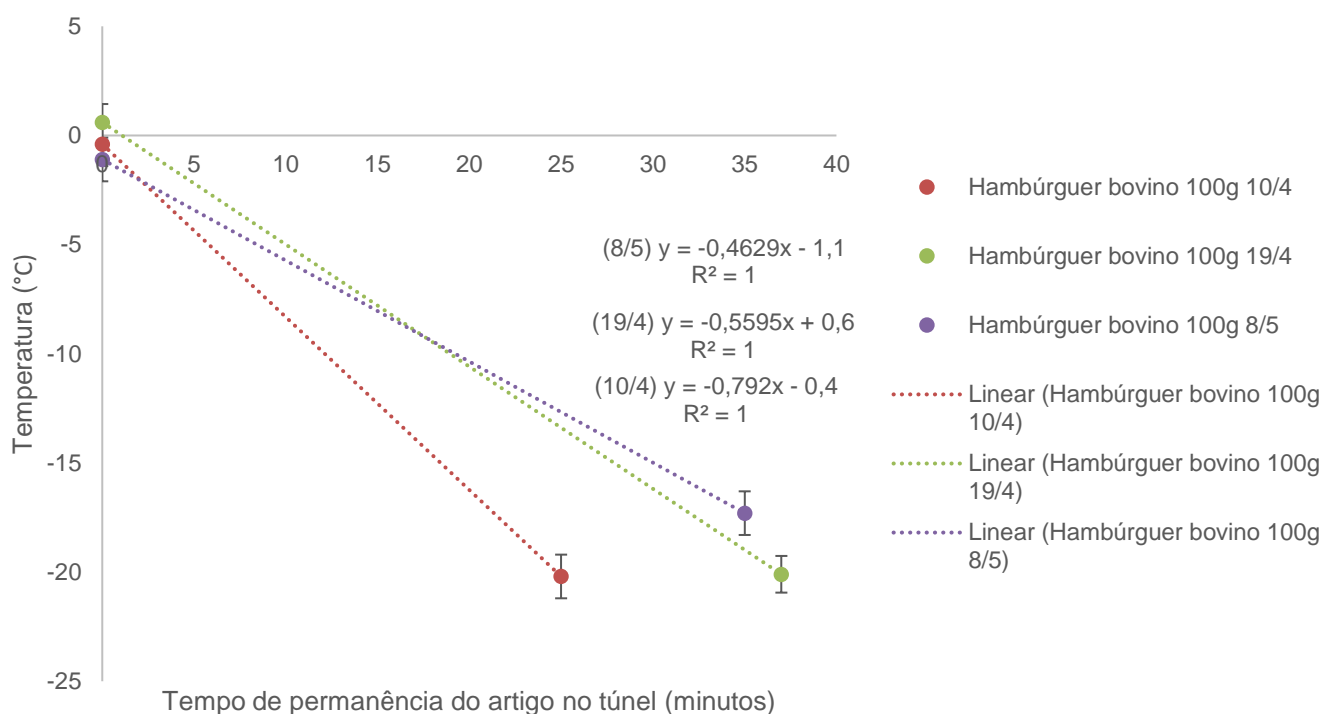


Figura 3.3. Registo das temperaturas do artigo hambúrguer bovino 100 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 10 e 19 de abril, e 5 de maio).

Através das equações de regressão linear apresentadas na figura 3.3., procedeu-se aos cálculos de estimativa do tempo necessário para que se atingisse a temperatura de congelação (-18°C). Obtiveram-se os seguintes resultados:

- Para o hambúrguer de 100 gramas analisado no dia 10 de abril, obteve-se um tempo de 22 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C);
- Para o hambúrguer analisado no dia 19 de abril, obteve-se um tempo de 33 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C);
- Para o hambúrguer analisado no dia 8 de maio, obteve-se um tempo de 37 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C).

Foi efetuado o valor médio, tendo-se obtido um valor de 31 minutos (com um desvio padrão de 7 minutos).

Assim, estabelece-se, tendo em conta o desvio padrão calculado, que são necessários **38 minutos** para que o produto efetue congelação. De acordo com a instrução da empresa (que estipulava para este artigo o mesmo tempo que para os hambúrgueres de 80 gramas (50 minutos)), seria expectável que fosse necessário que o artigo permanecesse mais tempo no interior do túnel. Uma vez que o manual de instruções do equipamento apenas designa uma janela de tempo para os hambúrgueres de 75 gramas, não é possível exercer uma comparação com esta gramagem já que a mesma é ligeiramente superior.

De acordo com Mascheroni (2012), para produtos com uma altura entre os 1,5 cm e os 2,25 cm (nas quais se enquadram os hambúrgueres de qualquer gramagem acompanhados neste ensaio) estimam-se que sejam necessários entre 28 a 44 minutos, para a congelação. A janela estipulada por Mascheroni vai de encontro aos valores estipulados no ensaio.

Apesar dos resultados apresentados por Mascheroni (2012) (que englobam as alturas dos artigos, em lugar de avaliarem a sua gramagem), é notável a existência de poucos ensaios que apresentem dados concretos sobre gramagens acima das 80g, (ou mesmo que comparem gramagens entre si), tornando premente a execução de ensaios que estabeleçam as diferenças entre as diferentes gramagens de produtos.

A tabela 3.3. apresenta os resultados do cálculo do tempo necessário para que os produtos atinjam -18°C no seu centro térmico, segundo as equações de reta retiradas da reta de tendência da figura 3.3., para o artigo hambúrguer bovino 100g. Além desses resultados, apresentam a temperatura de entrada e saída dos artigos no túnel, bem como o valor médio de tempo resultante dos três ensaios.

Tabela 3.3. Tabela resumo com os valores de temperatura de entrada e de saída do artigo do túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C .

Hambúrguer 100g bovino					
Número do ensaio	T (entrada) $^{\circ}\text{C}$	T (saída) $^{\circ}\text{C}$	Tempo efetivo dentro do túnel de congelação	Média tempo estimado no túnel (minutos)	Tempo médio extrapolado da reta de tendência para -18° (minutos) – tendo em conta o desvio padrão
Teste 1 (10/4)	$-0,4\pm 0,8$	$-20,2\pm 0,8$	25	22	38
Teste 2 (19/4)	$-0,6\pm 0,8$	$-20,1\pm 0,8$	27	33	
Teste 3 (8/5)	$-1,1\pm 0,8$	$-17,3\pm 0,8$	35	37	

A figura 3.4 apresenta os valores registados para a temperatura do ar e do túnel, durante o período de monitorização dos produtos.

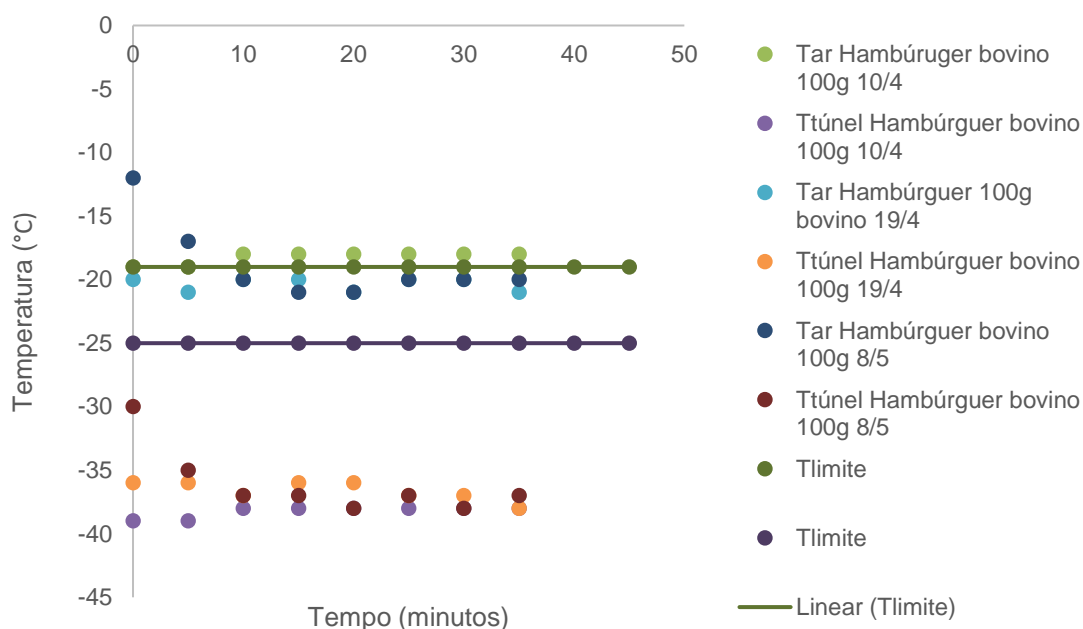


Figura 3.4. Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer bovino 100 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 10 de abril, 19 de abril e 8 de maio, onde Tar representa a temperatura do ar, Ttúnel a temperatura do túnel e Limite temperatura as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).

Através da análise do gráfico apresentado em 3.4., observa-se uma tendência de temperaturas do ar mais próximas do limite inferior (-19°C).

Esta tendência para temperaturas mais elevadas no ensaio, pode ter afetado a temperatura do produto, na medida em que este foi o dia em que, estimando o tempo necessário para se atingir a temperatura de congelação, se obteve um maior valor de tempo. Esta variação de temperatura do ar afeta negativamente a temperatura do túnel, sendo tal facto registado no gráfico, onde se visualiza que a temperatura do túnel acompanha a variação de temperatura do ar (Reid e Perez, 2006). A oscilação de temperatura tem impacto nas características do produto, o que pode resultar em alterações das características do mesmo. Uma maior temperatura do ar desencadeia uma temperatura mais alta nos produtos (Mallet, 1993), o que implica uma extensão de tempo na estimativa, tendo em conta a linha de tendência.

Através da análise da tabela 3.3. e figura 3.4 é possível deduzir que:

- Uma temperatura de entrada do produto mais baixa revelou-se favorável para que a temperatura de saída do mesmo fosse inferior. Tal não se verificou no terceiro ensaio, uma vez que para esta situação, a temperatura do túnel se apresentou fora dos limites considerados favoráveis (entre -19 °C e - 25°C).

Analisando as temperaturas do túnel e do ar, para o ensaio 3, observamos uma maior temperatura face aos outros ensaios. Assim, é possível deduzir que este maior valor de temperatura teve influência no tempo de congelação do produto. Tal facto acabou por influenciar o tempo médio para congelação desta gramagem. A decisão de manter o resultado prende-se com o facto de se compreender a influência da temperatura do ar na correta congelação dos artigos (Barbin e Junior, 2011), não sendo o processo apenas influenciado pela temperatura de entrada, tempo de permanência e dimensão do produto (Rahman, 2009). Apesar disso, Rahman refere que o maior impacto da taxa de congelação se prende com a composição em água do alimento, bem como o coeficiente de transferência de calor à superfície (que se relacionam com a velocidade de circulação do ar).

- Para temperaturas do ar e do túnel estáveis obtiveram-se valores de tempo e temperaturas finais aceitáveis, dentro dos limites estipulados.
- Em geral, o processo de congelação dos hambúrgueres de 100 gramas ocorreu a temperaturas mais elevadas do que os outros acompanhados ao longo do estudo. Assim, a diferença de temperatura do ar (valor mais elevado que nos restantes artigos seguidos) pode ter influenciado negativamente a estimativa de tempo. (Barbin e Junior, 2011; Agoulon, sem data).

3.1.1.3. HAMBÚRGUER BOVINO 200 GRAMAS

A figura 3.5. apresenta os resultados obtidos para o hambúrguer bovino de 200 gramas, para três medições distintas em três dias diferentes, nas mesmas condições de congelação. O produto apresentado é o de maior gramagem dentro da gama dos hambúrgueres.

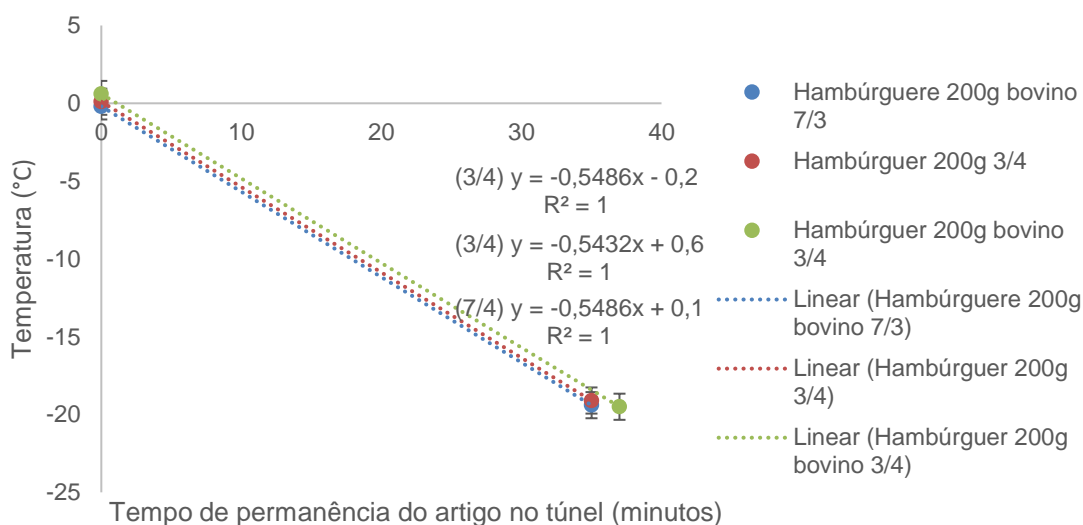


Figura 3.5. Registo das temperaturas do artigo hambúrguer bovino 200 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 7 de março, e 3 de abril).

- Para o hambúrguer de 200 gramas analisado no dia 7 de março, obteve-se um tempo de 33 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18 °C);
- Para o hambúrguer de 200 gramas analisado no dia 3 de abril, obteve-se um tempo de 32 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18 °C);
- Para o hambúrguer de 200 gramas analisado no dia 3 de abril (produção distinta), obteve-se um tempo de 34 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18 °C);

Foi efetuado o valor médio, tendo-se obtido um valor de 33 minutos (com um desvio padrão de 1 minuto).

Assim, estabelece-se, tendo em conta o desvio padrão calculado, que são necessários **34 minutos** para que o produto efetue congelação. De acordo com a

instrução da empresa, seria necessário que o produto permanecesse no túnel por 60 minutos (cerca do dobro do tempo), para que efetuasse totalmente a congelação. Este ensaio mostrou uma diferença significativa de tempo relativamente ao que antes se encontrava implementado.

Uma vez que as trocas de calor ocorrem através da superfície dos alimentos, a relação entre a superfície e o peso é de interesse.

A velocidade de congelação é inversamente proporcional à superfície específica de cada produto (já que as trocas de calor se dão à superfície do alimento). Tal aplica-se principalmente a produtos de pequenas dimensões (como os hambúrgueres) (Mallet, 1993). No entanto, a temperatura do ar tem uma forte influência na congelação do artigo, manifestando-se este impacto no facto de para maiores temperaturas do ar, ser necessário mais tempo para que o artigo atingisse temperaturas conformes de congelação (-18°C).

A tabela 3.4. apresenta os resultados do cálculo dos valores de tempo necessários para que os produtos atinjam -18°C no seu centro térmico, segundo as equações de reta de tendência da figura 3.5., para o artigo hambúrguer bovino 200g. A tabela apresenta ainda os valores de temperatura dos artigos à saída e entrada do túnel, e o valor médio de tempo para congelação (tendo em conta o desvio padrão).

Tabela 3.4. Tabela resumo com os valores de temperatura de entrada e de saída do artigo hambúrguer de 200g bovino no túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C .

Hambúrguer 200g bovino					
Número do ensaio	T (entrada) $^{\circ}\text{C}$	T (saída) $^{\circ}\text{C}$	Tempo efetivo dentro do túnel de congelação	Média tempo estimado no túnel (min)	Tempo médio extrapolado da reta de tendência para -18° (min) – tendo em conta o desvio padrão
Teste 1 (3/4)	$-0,2\pm0,8$	$-19,4\pm0,8$	35	33	34
Teste 2 (7/4)	$0,1\pm0,8$	$-19,1\pm0,8$	36	32	
Teste 3 (3/4)	$0,6\pm0,8$	$-19,5\pm0,8$	37	34	

A figura 3.6 apresenta os valores registados para a temperatura do ar e do túnel, durante o período de monitorização dos produtos apresentados na figura 3.5.

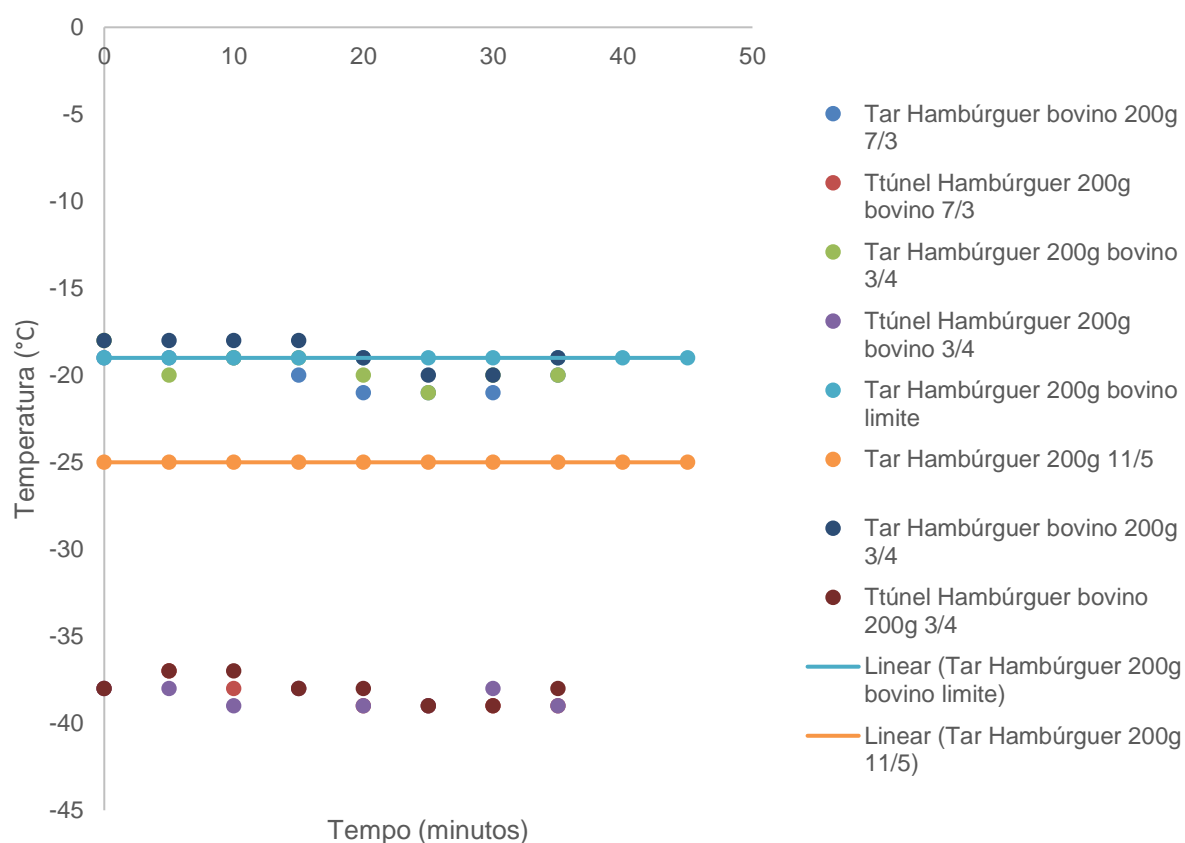


Figura 3.6. Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer bovino 200 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 7 de março e 3 de abril), onde Tar representa a temperatura do ar, Ttúnel a temperatura do túnel e limite temperatura as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).

Os registos apresentados na figura 3.6. estabelecem a tendência de temperatura do ar e do túnel, para os dias em que foi efetuado o acompanhamento. As temperaturas encontraram-se dentro dos valores referidos na instrução da empresa, sendo relativamente constantes e estáveis durante os acompanhamentos, mais próximas do limite inferior de temperatura.

Observando os resultados obtidos resumidos na tabela 3.4., e face aos valores de temperatura do ar apresentados na figura 3.6, é possível concluir:

- O tempo de permanência do artigo no túnel foi consistente nos três acompanhamentos efetuados.
- Apesar de se estimar que artigos de maior massa, consequentemente, demoram mais tempo a atingir temperaturas de congelação (FAO, sem data), o tempo estipulado para a congelação desta gramagem foi inferior ao que se estipulou para os hambúrgueres de 100g. Calcula-se que tal se deva à influência da temperatura do ar e do túnel, já que as temperaturas do ar foram inferiores para os hambúrgueres de 200g (Mallet, 1993). Assim, estima-se que estas temperaturas sejam fundamentais para o correto funcionamento da congelação e para os tempos estipulados.

A figura 3.7. apresenta a comparação entre os tempos para as diferentes gramagens de hambúrguer sofrerem congelação.

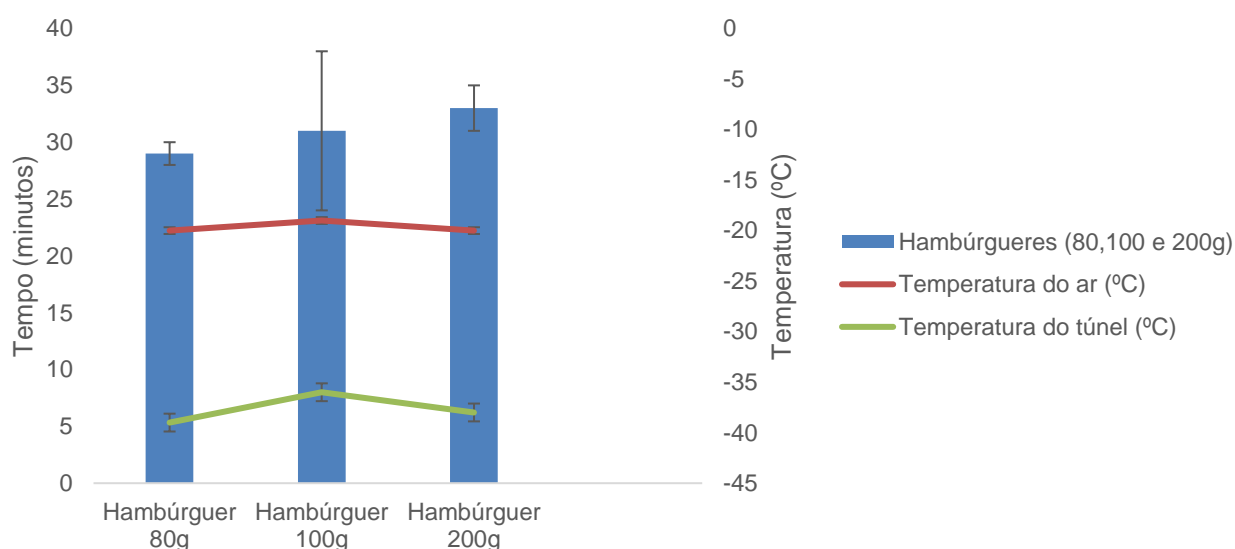


Figura 3.7. Comparação dos resultados (tempo) obtidos para a congelação dos artigos hambúrguer 80g, 100g e 200g bovino, face à temperatura do ar e do túnel.

De acordo com os dados apresentados na figura 3.7, é possível visualizar que apesar de se verificar uma ligeira tendência para o aumento do tempo de congelação com o aumento da gramagem, os valores obtidos para as três gramagens distintas foram semelhantes, não havendo diferenças significativas entre os mesmos. Se não for tido em conta o valor do desvio padrão (superior para o hambúrguer de 100 gramas devido à influência negativa da alta

temperatura do ar registada para um dos acompanhamentos), consegue compreender-se uma tendência de aumento da temperatura com o aumento da gramagem do produto.

3.1.1.4. HAMBÚRGUER SUÍNO 100 GRAMAS

O produto hambúrguer suíno foi acompanhado, tendo-se procedido à avaliação das temperaturas em três situações distintas de produção, para três dias diferentes, nas mesmas condições de produção e congelação.

A figura 3.8. apresenta os valores registados para a temperatura do artigo hambúrguer suíno 100g, em função do tempo de permanência no túnel.

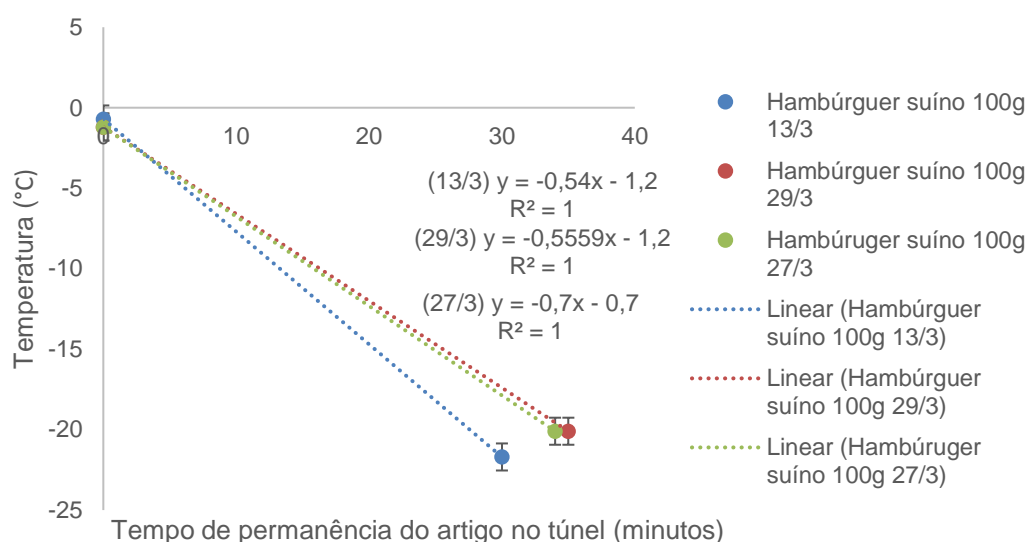


Figura 3.8. Registo das temperaturas do artigo hambúrguer suíno 100 gramas em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 13, 26 e 27 de março).

Através das equações de regressão linear apresentadas na figura 3.8., procedeu-se aos cálculos de estimativa do tempo necessário para que se atingisse a temperatura de congelação (-18°C). Obtiveram-se os seguintes resultados:

- Para o hambúrguer de 100g de suíno analisado no dia 13 de março, obteve-se um tempo de 31 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18°C);

- Para o hambúrguer de 100g de suíno analisado no dia 27 de março, obteve-se um tempo de 25 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18 °C);
- Para o hambúrguer de 100g de suíno analisado no dia 29 de março, obteve-se um tempo de 30 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (-18 °C).

Foi efetuado o valor médio, tendo-se obtido um valor de 28 minutos (com um desvio padrão de 3 minutos).

Assim, estabelece-se, tendo em conta o desvio padrão calculado, que são necessários **31 minutos** para que o produto efetue congelação.

A tabela 3.5. apresenta os resultados do cálculo dos valores de tempo necessários para que os produtos atinjam - 18°C no seu centro térmico, segundo as equações de reta de tendência da figura 3.8., para o artigo hambúrguer suíno 100g. A tabela apresenta ainda a temperatura de entrada e saída dos produtos, bem como o valor médio de tempo estipulado (tendo em conta o desvio padrão).

Tabela 3.5. Tabela resumo dos valores de temperatura de entrada e de saída do artigo hambúrguer de 100g suíno no túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C.

Hambúrguer 100g suíno					
Número do ensaio	T (entrada) °C	T (saída) °C	Tempo efetivo dentro do túnel de congelação	Média tempo estimado no túnel (min)	Tempo médio extrapolado da reta de tendência para - 18° (min) – tendo em conta o desvio padrão
Teste 1 (27/3)	-0,70±0,8	-21,7±0,8	32	25	31
Teste 2 (29/3)	-1,2±0,8	-20,1±0,8	34	30	
Teste 3 (13/3)	-1,2±0,8	-20,1±0,8	34	31	

A figura 3.9. apresenta os valores registados para a temperatura do ar e do túnel, durante o período de monitorização dos produtos apresentados na figura 3.8.

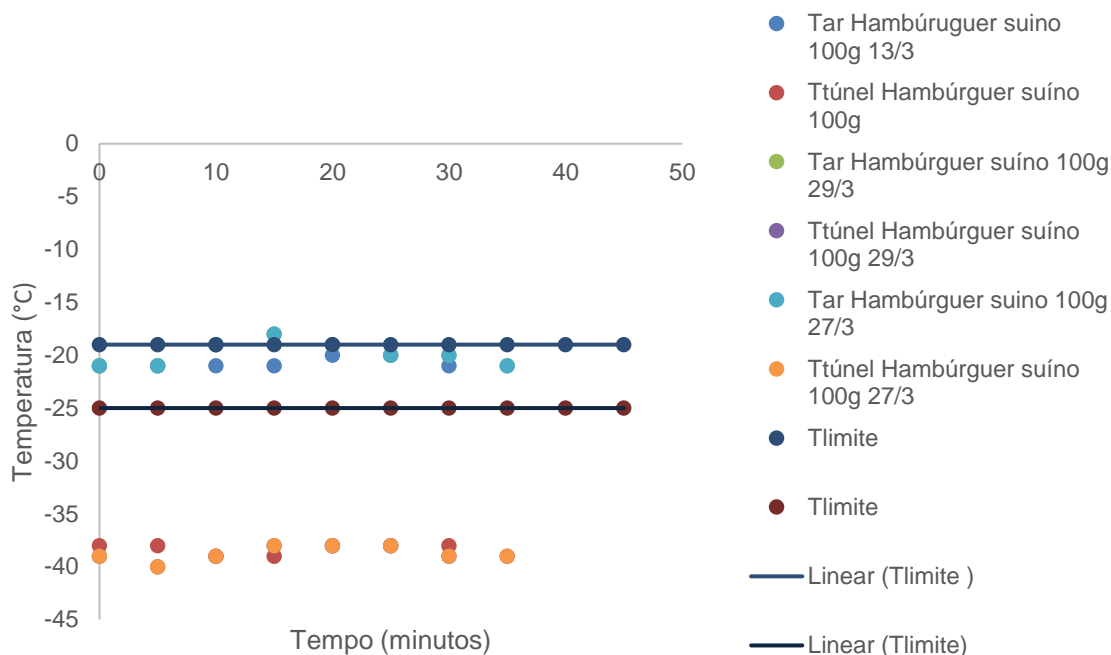


Figura 3.9. Registo das temperaturas do ar em função do tempo de permanência do produto hambúrguer suíno 100 gramas no interior do túnel de congelação em espiral (para os dias 13, 27 e 29 de março), onde Tar representa a temperatura do ar, Ttúnel a temperatura do túnel e Tlimite as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).

Os registos apresentados na figura 3.9. estabelecem a tendência de temperatura do ar e do túnel, para os dias em que foi efetuado o acompanhamento. As temperaturas encontraram-se dentro dos valores referidos na instrução da empresa, sendo relativamente constantes e estáveis durante os acompanhamentos, e mais próximas do limite inferior estipulado. O valor que apresentou uma maior discrepância (um registo maior de temperatura do ar do túnel, face aos restantes registos para outros dias) foi o registado no dia 27 de março.

A figura 3.10. apresenta a comparação dos resultados obtidos para os dois hambúrgueres de mesma gramagem (hambúrguer bovino e suíno 100g), relativamente ao tempo de congelação, tendo em conta as temperaturas do ar e do túnel.

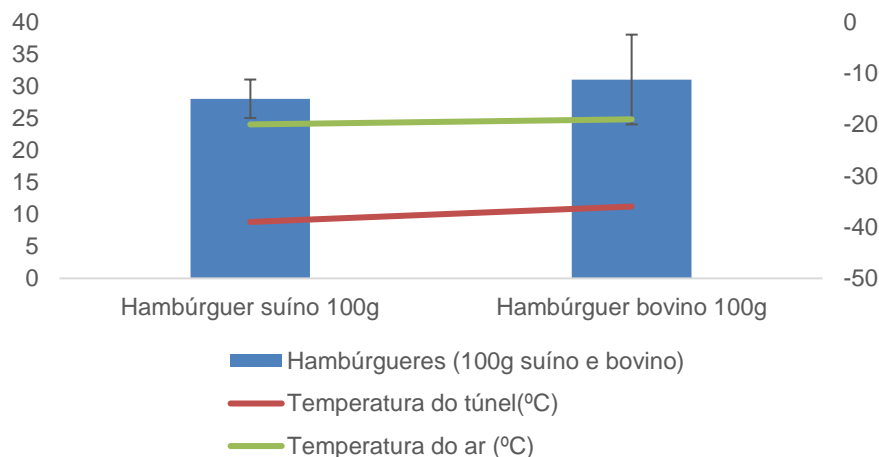


Figura 3.10. Comparação dos valores de tempo para congelação dos artigos hambúrguer bovino e suíno 100g, face à temperatura do ar e temperatura do túnel (°C).

De acordo com o gráfico apresentado, as diferenças verificadas foram pouco significativas, não se notando um impacto nos tempos obtidos tendo em conta a origem da carne (bovina ou suína). No entanto, segundo Rahman (2009), a composição do alimento em termos de microestrutura e conteúdo nutricional tem impacto nas diferenças de tempo para congelação. Para avaliar estas diferenças, deverão ser realizados estudos que foquem o impacto da composição na congelação.

3.1.2. BIFANAS EXTRA FINAS

Encontra-se estabelecido, na instrução da empresa, que o intervalo de temperatura a que se deve encontrar o túnel para a correta congelação do artigo bifanas finas extra é entre os -17 e os -21°C (havendo uma menor exigência em termos de temperatura do ar e do túnel, face aos outros produtos congelados utilizando a mesma técnica). De acordo com Mascheroni (2012), a altura do produto tem impacto no tempo que o mesmo demora para congelar. Assim, e possuindo este artigo uma altura significativamente inferior (e consequentemente uma menor espessura), calcula-se que tal apresente impacto no tempo de congelação.

Foram recolhidos seis resultados relativos ao artigo, uma vez que é o mais frequente para congelação por túnel de ar forçado na empresa.

O produto deve ainda, segundo o documento, permanecer por um período de 30 minutos no túnel para que se efetue uma congelação correta do mesmo, sendo o artigo

com o menor tempo estipulado para congelação (pela volumetria do tipo de artigo, com uma altura reduzida).

Relativamente à temperatura, uma vez que se trata de um produto ultracongelado, deverá terminar o processo de congelação atingindo no seu centro térmico - 18°C.

A figura 3.11. apresenta os resultados recolhidos relativos à congelação das bifanas em túnel, onde se apresentam as retas de tendência tendo em conta a temperatura de entrada e saída dos produtos, bem como o tempo de permanência no interior do túnel.

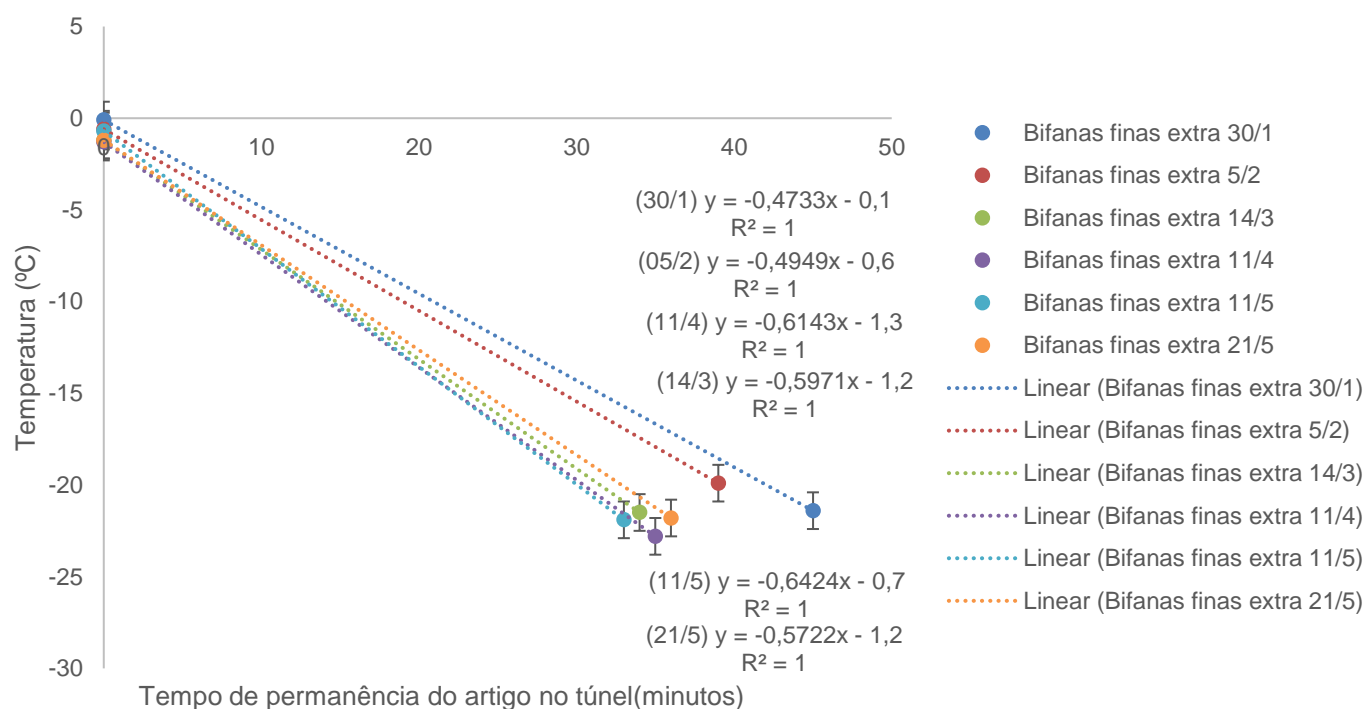


Figura 3.11. Registo das temperaturas do artigo bifanas finas extra em função do tempo de permanência no túnel em espiral (para os dias 30 de janeiro, 5 de fevereiro, 14 de março, 11 de abril, 11 de maio e 21 de maio).

- Para as bifanas finas extra analisadas no dia 30 de janeiro (teste 1), obteve-se um tempo de 38 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (- 18°C);
- Para as bifanas finas extra analisadas no dia 5 de fevereiro (teste 2), obteve-se um tempo de 35 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (- 18°C);
- Para as bifanas finas extra analisadas no dia 14 de março (teste 3), obteve-se um tempo de 27 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (- 18°C);

- Para as bifanas finas extra analisadas no dia 11 de abril (teste 4), obteve-se um tempo de 28 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (- 18°C);
- Para as bifanas finas extra analisadas no dia 11 de maio (teste 5), obteve-se um tempo de 27 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (- 18°C);
- Para as bifanas finas extra analisadas no dia 21 de maio (teste 6), obteve-se um tempo de 29 minutos, tendo sido atingida uma temperatura de congelação (- 18°C).

Foi efetuado o valor médio, tendo-se obtido um valor de 31 minutos (com um desvio padrão de 4 minutos).

Assim, estabelece-se, tendo em conta o desvio padrão calculado, que são necessários **35 minutos** para que o produto efetue congelação. Face ao valor estipulado na instrução, o tempo foi superior, sendo necessários mais 5 minutos do que instituído. Uma vez que anteriormente (e durante a execução do acompanhamento), não foram usados os tempos insituídos na instrução (sendo os usados superiores aos definidos para as bifanas), a sua congelação correta foi sempre salvaguardada. Coloca-se ainda a hipótese de, uma vez que as características do túnel são adaptáveis, os 30 minutos estipulados possam ter sido determinados face a diferentes parâmetros estipulados.

O valor foi posteriormente alterado, de forma a que, face às atuais características do túnel, esta situação ficasse salvaguardada, de maneira a que todos os artigos abrangidos pela técnica se apresentassem congelados no fim da circulação no interior do túnel.

A tabela 3.6. apresenta os resultados do cálculo dos valores de tempo necessários para que os produtos atinjam -18°C no seu centro térmico, segundo as equações de reta retiradas da reta de tendência da figura 3.11., para o artigo bifanas finas extra.

Tabela 3.6. Tabela resumo dos valores de temperatura de entrada e de saída do artigo bifanas finas extra no túnel, o tempo de congelação e a média do tempo estimado para a congelação dos mesmos, bem como a média das extrapolações efetuadas para -18°C .

Bifanas finas extra					
Número do ensaio	T (entrada) $^{\circ}\text{C}$	T (saída) $^{\circ}\text{C}$	Tempo efetivo dentro do túnel de congelação	Tempo estimado no túnel (min)	Tempo médio extrapolado da reta de tendência para -18° (min) com respetivo desvio padrão
Teste 1 (30/1)	$-0,1\pm 0,8$	$-21,4\pm 0,8$	45	38	35
Teste 2 (5/2)	$-0,6\pm 0,8$	$-19,9\pm 0,8$	39	35	
Teste 3 (14/3)	$-1,2\pm 0,8$	$-21,5\pm 0,8$	34	27	
Teste 4 (11/4)	$-1,3\pm 0,8$	$-22,8\pm 0,8$	35	28	
Teste 5 (11/5)	$-0,7\pm 0,8$	$-21,9\pm 0,8$	33	27	
Teste 6 (21/5)	$-1,2\pm 0,8$	$-21,8\pm 0,8$	36	29	

A figura 3.12. apresenta os registos de temperatura do ar e do túnel, nos momentos em que os artigos sofreram monitorização.

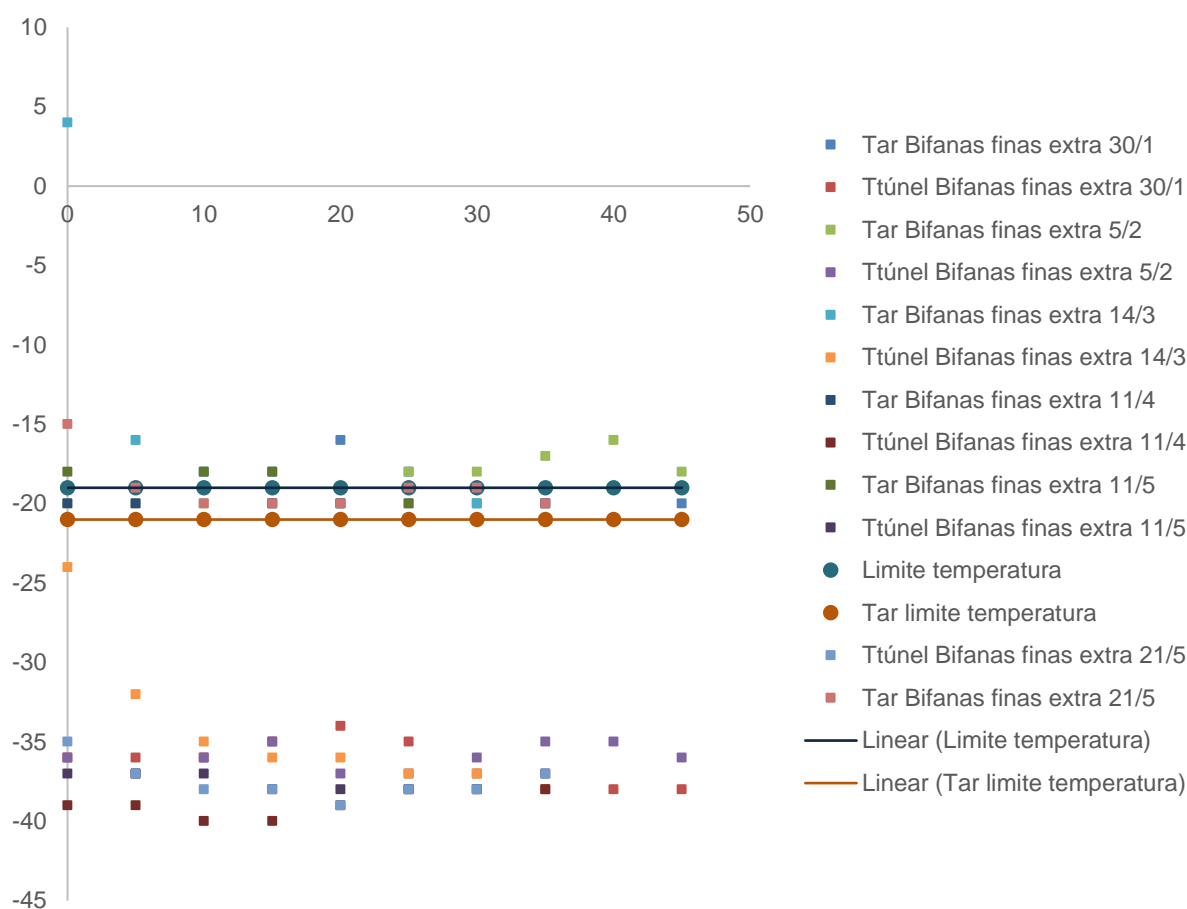


Figura 3.12. Registo das temperaturas do ar e do túnel durante o acompanhamento dos artigos bifanas finas extra, em função do tempo de permanência no túnel em espiral (onde Tar representa a temperatura do ar e Ttúnel a temperatura do túnel e Tlimite as temperaturas estipuladas na instrução da empresa para a temperatura do ar).

A temperatura do ar manteve-se maioritariamente dentro dos valores estipulados no documento, estando as mesmas conformes durante o decorrer da congelação dos artigos (e mais próximas do limite inferior estipulado na instrução).

Ainda para os casos em que ocorreu um ligeiro desvio para os valores definidos de temperatura, as temperaturas de congelação foram atingidas pelos produtos (-18°C), não colocando em causa a qualidade e a segurança alimentar dos produtos.

Em algumas situações, é possível discernir a influência direta da diminuição da temperatura do ar na temperatura do túnel, observando-se um impacto na mesma na temperatura do produto. Para a congelação utilizando esta técnica, e segundo Singh e Heldman (2001), quanto menor for o produto, menor for a temperatura do ar, e maior a sua velocidade de

circulação, mais rapidamente o mesmo atinge congelação. Deste modo, é possível verificar que os resultados obtidos vão de encontro ao exposto pelo autor, ou seja, temperaturas de ar mais baixas permitem que mais rapidamente se atinjam temperaturas de congelação, enquanto que maiores gramagens implicam um maior tempo para que a mesma seja atingida.

Duante todos os acompanhamentos efetuados, quer relativamente à matéria prima, quer relativamente ao produto final acabado congelado, não foram registadas temperaturas não conformes que impedissem a não inclusão dos resultados.

Analisando os dados resumidos da tabela 3.6., e tendo em conta os valores de temperatura do ar e do túnel apresentados na figura 3.12., é possível deduzir que:

- Artigos que à entrada do túnel de congelação apresentaram temperaturas mais baixas, apresentam uma tendência para terminar o processo com uma temperatura mais baixa, para tempos de permanência no túnel semelhantes, já que a temperatura de entrada do artigo no túnel tem impacto na temperatura final do produto (Lino e Lino, 2014).
- O tempo de permanência dos artigos no túnel acompanharam uma tendência de tempos semelhantes, tendo sempre um valor próximo ao valor extrapolado que se pretende implementar na instrução.
- As temperaturas de saída do túnel mantiveram-se relativamente constantes e próximas, para diferentes valores de permanência no túnel.

3.2. RESULTADOS RECOLHIDOS PARA A CONGELAÇÃO POR TÚNEL DE AR FORÇADO

Foi efetuado, para cada grupo de produtos, um conjunto de medições que permitissem validar o processo de congelação em túnel por ar forçado. Com os dados recolhidos dessas medições, obteve-se um perfil de temperaturas final de congelação, que permitiu compreender qual o tempo necessário para a congelação, tendo em conta variáveis como o tempo de permanência do artigo no túnel, e a sua temperatura de entrada.

Previamente à realização do ensaio, a empresa possuía uma intrução que definia regras de congelação em túnel por ar forçado. No entanto, a mesma não estipulava tempos de congelação para o conjunto de artigos aqui acompanhados, definindo apenas períodos para um conjunto limitado de produtos. Esta encontra-se de momento em revisão, de forma a incluir os tempos aqui determinados.

O número de medições efetuadas dependeram da frequência de produção dos mesmos, fazendo com que haja variações da amostragem.

A tabela 3.7. apresenta os artigos acompanhados, e o número de acompanhamentos que foram efetuados para cada um deles.

Tabela 3.7. Número de acompanhamentos efetuados por grupo de artigo, em artigos congelados em túnel de ar forçado.

Artigo monitorizado	Número de medições efetuadas
Cubos de carne congelados	3
Carne para picar congelada (caixas de 2-3kg)	2
Carne para guisar (cubos)	2

Os valores de tempo estipulados no ensaio foram arredondados, de forma a obter valores que permitam uma adaptação real à circunstância de congelação.

3.2.1. CUBOS DE PORCO CONGELADOS

Os artigos acompanhados, cubos de porco congelados, encontram-se distribuídos num saco plástico selado a vácuo, permitindo que estes se encontrem acomodados no interior de uma caixa de cartão.

A figura 3.13. apresenta os resultados recolhidos para o artigo cubos de porco congelado no dia 26 de fevereiro.

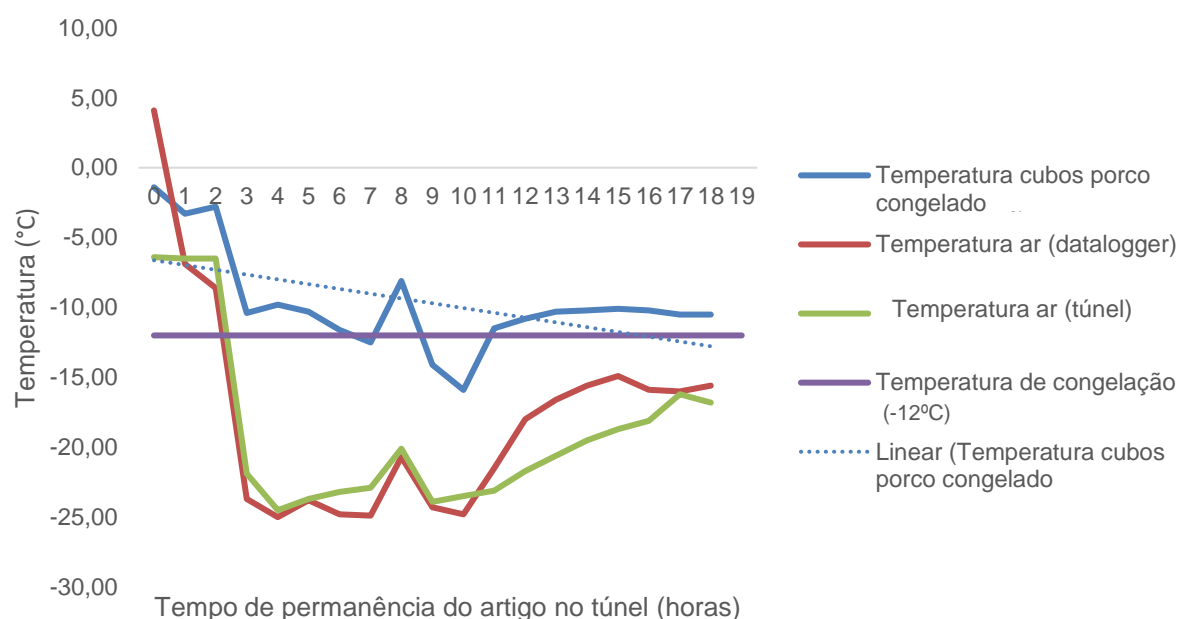


Figura 3.13. Variação da temperatura do artigo cubos de porco congelados, em congelação em túnel por ar forçado (26 de fevereiro).

No momento de colocação da sonda, foi medida a temperatura do artigo, recorrendo-se para tal ao termómetro de perfuração. Este registou uma temperatura de $-4,3^{\circ}\text{C}$, próximo ao valor registado pela sonda. Esta aproximação dos valores determinados pelo termómetro e sonda permitem validar as temperaturas obtidas pelo *datalogger* ao longo do processo de monitorização.

Os valores de temperatura do ar registados quer pela sonda interna do túnel, quer pelo *datalogger* manifestaram-se próximos, validando a temperatura do ar no processo.

Após **7 horas** do início da monitorização, o artigo atingiu a temperatura de congelação (-12°C).

A figura 3.14. apresenta os resultados das temperaturas de congelação para o artigo cubos de porco congelados no dia 21 de fevereiro.

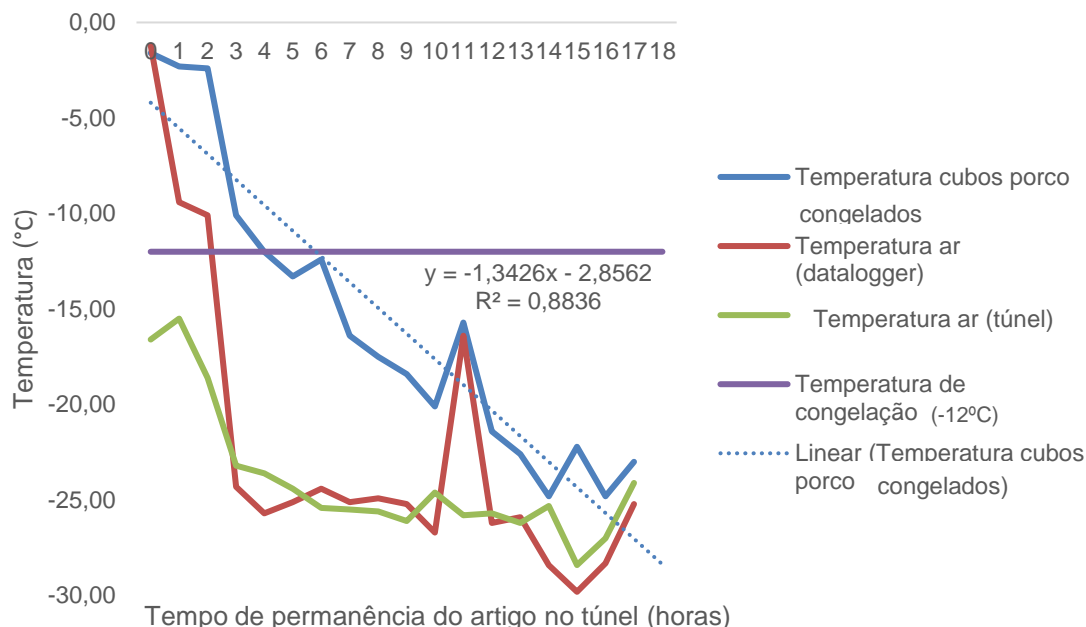


Figura 3.14. Variação da temperatura do artigo cubos congelados em congelação em túnel por ar forçado (para o dia 21 de fevereiro).

Os valores de temperatura do ar registados pela sonda de temperatura apresentam algumas oscilações, confirmadas pelos registos efetuados pelo *datalogger*. Estas oscilações afetaram a temperatura do produto, que acompanhou as oscilações registadas, tal como foi reportado por Reid e Perez (2006). O pico de temperatura que ocorreu às onze horas, decorreu de um pico de descongelação no túnel, frequente neste tipo de processos de congelação. Uma vez que decorreu por um curto período de tempo, é possível manter a temperatura dos alimentos durante este tipo de situações pontuais.

Através da análise da figura 3.14, verificou-se que foram necessárias cerca de **7 horas** para que se atingissem temperaturas de congelação (-12°C).

A figura 3.15. apresenta os resultados para os cubos congelados em túnel de congelação.

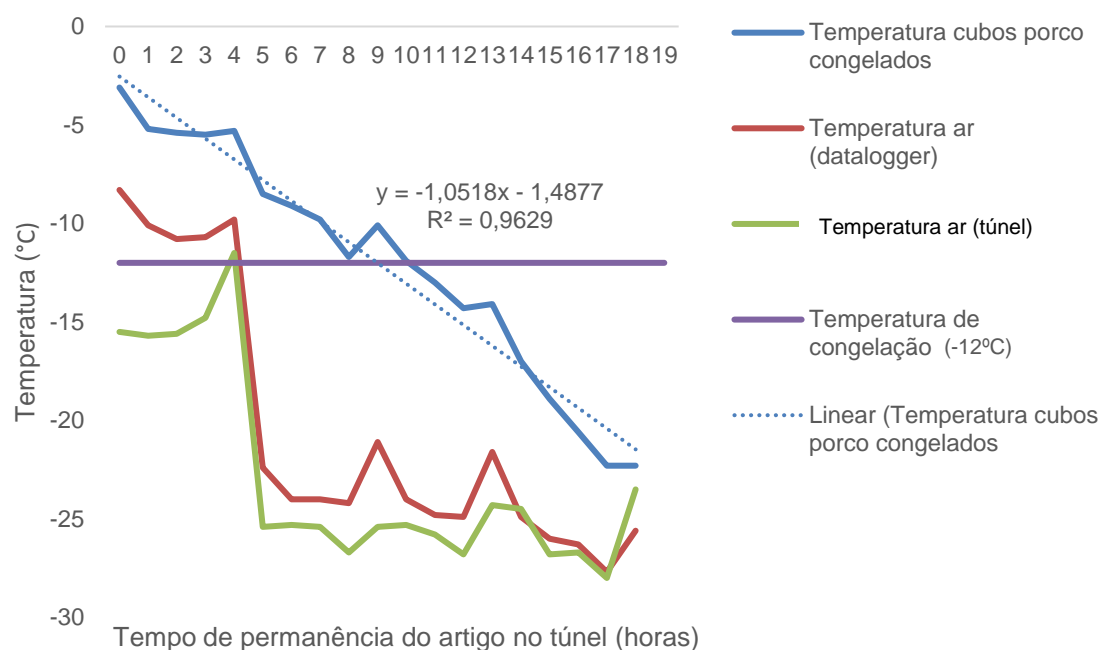


Figura 3.15. Variação da temperatura do artigo cubos congelados em congelação em túnel por ar forçado (no dia 4 de maio).

Verificou-se, face aos gráficos 3.13. e 3.14., a necessidade de um maior tempo para o decréscimo da temperatura do produto. Na origem deste facto pode estar um mais lento decréscimo da temperatura do ar, que influencia negativamente a descida de temperatura do artigo (FAO, sem data).

As ligeiras variações registadas devem-se às oscilações da temperatura do ar, recorrentes em processos de congelação em túnel.

O artigo apresentado foi colocado no túnel de congelação previamente ao seu início de funcionamento, de forma a compreender o impacto que tal situação implicaria no produto. Tal traduz-se numa diminuição gradual de temperatura, suportado pelos dados evidenciados na figura 3.15. (a ausência de uma brusca descida de temperatura é evidente). De acordo com os dados, estima-se que o túnel tenha iniciado o seu funcionamento 4 horas após o início da monitorização, altura em que a temperatura do ar sofreu uma descida brusca. Após esta descida, levou cerca de **3 horas** para que o produto atingisse temperaturas de congelação (-12°C). Obteve-se um tempo estimado de **10 horas** para a correta congelação do artigo.

Desta forma, a janela de tempo para a congelação do artigo deverá ser entre as **7 horas** (no caso de a temperatura de entrada do artigo ser favorável (temperatura abaixo dos 0°C), da descida de temperatura no túnel ser feita de forma rápida e constante ao longo do tempo e de não ocorrerem oscilações de temperatura do produto) e as **10 horas** (no caso da temperatura

de entrada do produto baixa (abaixo dos 0°C), mas a descida de temperatura ser mais lenta ou o túnel apresentar oscilações de temperatura durante o processo de congelação).

3.2.2. CARNE PARA PICAR CONGELADA

A figura 3.16. apresenta os valores de temperatura do artigo carne para congelar picada, congelada em caixas de menor volume. A monitorização das caixas contendo este artigo de menor volume seve para avaliar a influência do volume das caixas no tempo que o conteúdo demora a efetuar congelação. Apesar de conterem menor massa do que as caixas para cubos, a forma como esta se encontra distribuída pode influenciar a velocidade de decréscimo de temperatura.

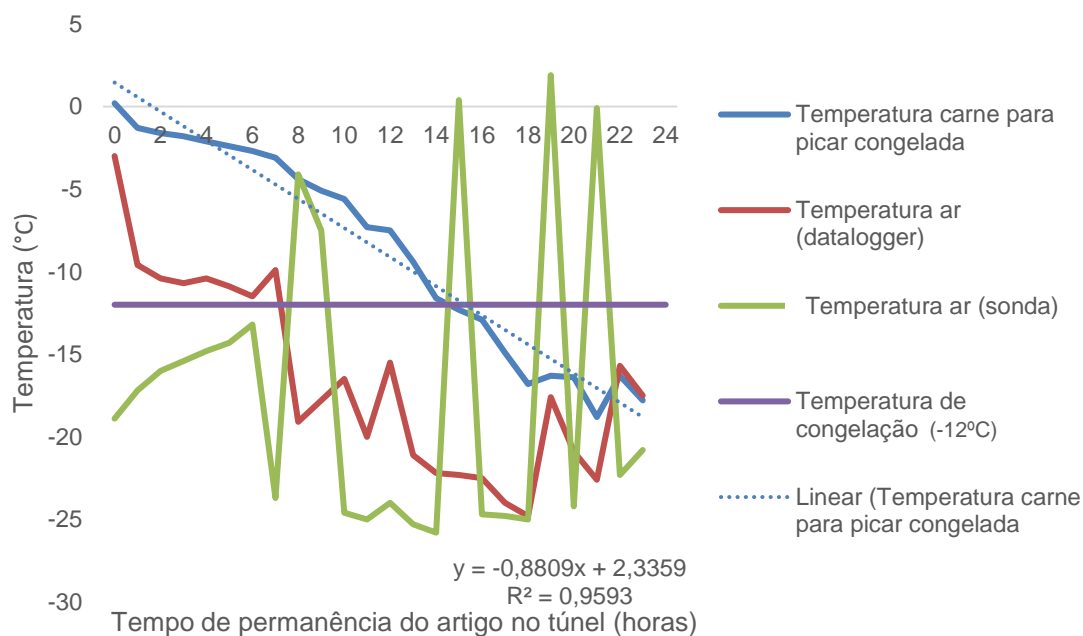


Figura 3.16. Temperatura do artigo carne para picar congelada – caixa de aproximadamente 3kg, (com uma variação não superior a 250 gramas) em túnel de congelação por ar forçado.

A oscilação de temperatura do túnel de congelação pode dever-se a picos de descongelação do mesmo, situação que permite que não ocorra subrecarga do funcionamento do sistema de frio, sendo a mesma recuperada posteriormente.

A partir da mesma, deduziu-se que, para que o artigo atingisse a temperatura de congelação (tendo em conta as oscilações de temperatura verificadas) seriam **necessárias 14 horas**.

A figura 3.17. apresenta os resultados obtidos para a congelação em túnel por ar forçado do artigo carne para picar congelada.

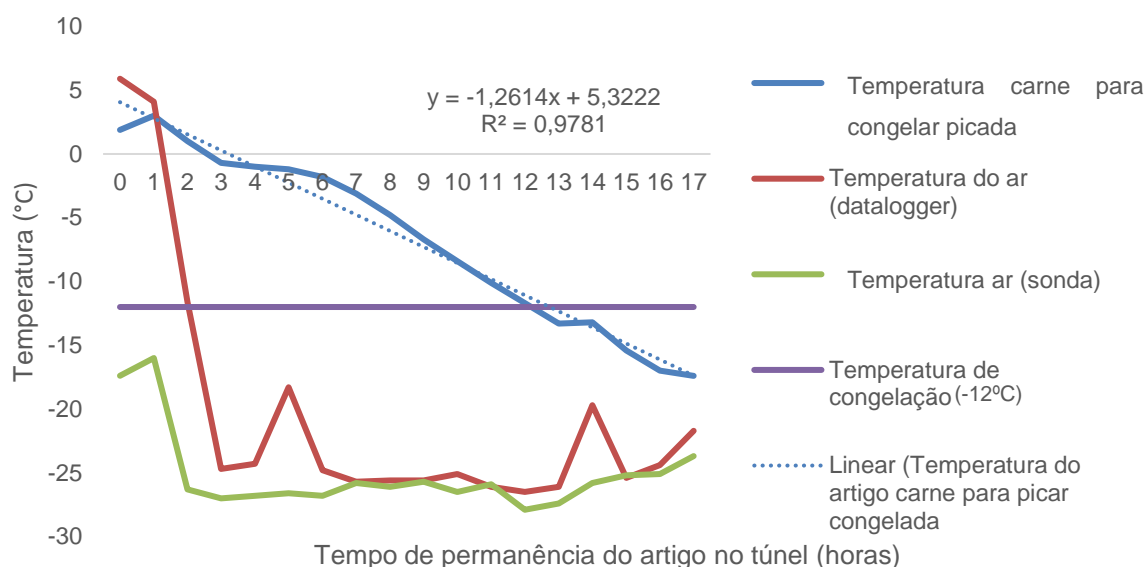


Figura 3.17. Variação da temperatura do artigo carne para picar congelada – caixa 2,750kg em congelação em túnel por ar forçado.

Após análise dos valores registados no gráfico, obteve-se como estimativa um tempo de **12 horas** para que a congelação fosse eficiente.

Deste modo, com os dados recolhidos para a carne para picar congelada, apresentam uma janela de tempo de congelação entre as **12 horas** e as **14 horas**.

Apesar das caixas apresentarem menos peso do que as caixas com cubos de porco congelados, estas apresentam mais dificuldade na congelação. Tal resulta da maior densidade do produto na caixa (os cubos encontram-se embalados a vácuo, em embalagens que permitem que estes fiquem compactos e distribuídos por uma maior área, enquanto que a carne para picar congelada se apresenta concentrada numa caixa menor). Tal dificulta a congelação no seu centro térmico. Segundo Mallet (1993), uma maior área de contacto de produto diminui o tempo de congelação, apresentando-se o mesmo facto resumido na tabela 3.8.

Tabela 3.8. Variação do tempo de congelação face à densidade e área de contacto com o produto.

Densidade kg/m ³	Área de contacto	Tempo de congelação (horas)
800	48	3
780	45	3
650	29	3,8
650	21	4

Fonte: FAO (sem data) (adaptado). (<http://www.fao.org/3/x5936e/x5936e01.htm>)

Assim, é possível compreender que uma maior área de superfície diminui o tempo de congelação. Deste modo, quanto mais área existir em contacto com o ar circulante, mais fácil será de congelar o produto. Tal facto verifica-se com o cubos de porco congelados que, por se apresentarem embalados a vácuo, aumentam a sua superfície de contacto, facilitando a remoção de calor à superfície, e contribuindo para a sua mais rápida congelação.

3.2.3. CARNE DE BOVINO/NOVILHO PARA GUIJAR CONGELADA

Os valores apresentados nas figuras seguintes (figura 3.18. e 3.19.) remetem para os valores recolhidos relativamente a carne de novilho e bovino para guisar congelados, recolhidos em dois dias distintos.

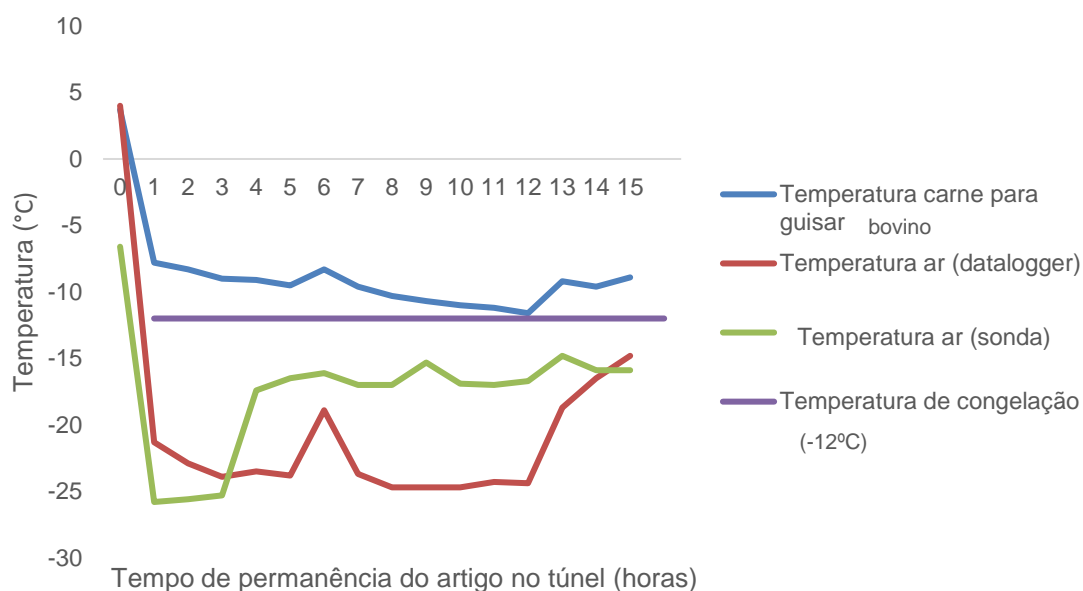


Figura 3.18. Variação da temperatura do artigo carne de bovino para guisar congelado em congelação em túnel por ar forçado (22 de maio).

O gráfico apresentado na figura 3.18. expõe os resultados obtidos para carne de bovino para guisar congelada em túnel de congelação por ar forçado.

O artigo apresentou temperaturas do ar dispares relativamente à temperatura do ar detetada no interior do túnel. Tal deveu-se ao facto do *datalogger* ter sido colocado entre caixas que se encontravam na estante, o que impedia a medição da temperatura próxima do local onde ocorria a circulação do ar.

A congelação do produto foi efetuada cerca de **12 horas** após o início da congelação.

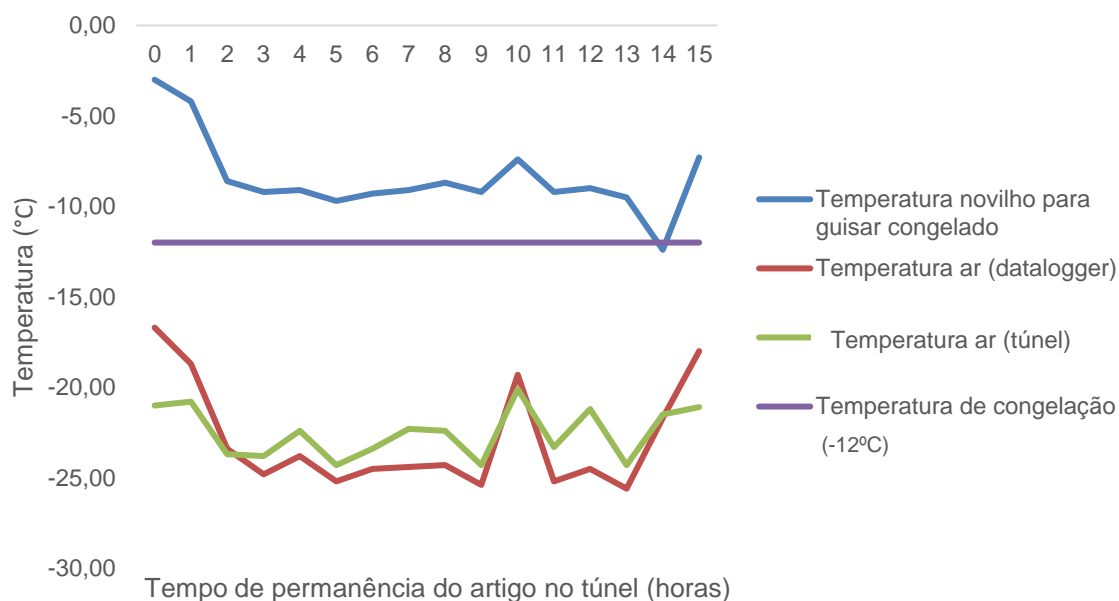


Figura 3.19. Variação da temperatura do artigo carne para guisar novilho congelado em congelação em túnel por ar forçado (28 de fevereiro).

A figura 3.19. apresenta os valores de temperatura e tempo relativos à congelação de novilho para guisar congelado em túnel de congelação por ar forçado.

O artigo demorou cerca de **14 horas** para efetuar congelação, sendo o tempo ligeiramente superior ao valor apresentado na figura 3.18. Tal facto pode dever-se a variáveis que não foram tidas em conta, como a quantidade de artigos presentes no túnel, (já que a temperatura do ar demonstrou ser também inferior ao valor registado na figura 3.18.) (FAO, sem data).

Com este ensaio foi possível estipular tempos e temperaturas para a utilização do túnel de ar forçado para um diferente grupo de artigos, de forma a que posteriormente fossem validados e que passassem a fazer parte do documento de instrução da empresa (que anteriormente não incluía os mesmos), criando a possibilidade de adaptação de tempo de acordo com os produtos que se encontrassem para congelação nos diferentes dias. Tal situação permite a existência de uma alternativa ao facto do túnel ter de permanecer ligado constantemente durante o período noturno.

3.3. VALIDAÇÃO

A tabela 3.9. apresenta os valores estipulados pela empresa, previamente à realização do estudo, o tempo que foi estipulado pelo ensaio realizado, as temperaturas do ar no processo de congelação por túnel em espiral prévias à realização do ensaio e a nova janela de temperaturas, face à realização acompanhada nos ensaios.

O tempo estipulado pela instrução da empresa apresentado é o tempo estipulado previamente aos ensaios realizados, o tempo estipulado pelo ensaio o valor mais elevado dos resultados do cálculo da regressão linear para aquele grupo de artigos, a temperatura estipulada pela instrução da empresa, a temperatura que a mesma estipulou para o ar, previamente à realização dos ensaios, e a temperatura estipulada através do ensaio, as temperaturas que se definiram após análise dos valores obtidos no seguimento do ensaio.

Os resultados apresentados englobam os valores obtidos nos ensaios, não tendo como base mais nenhum conjunto de resultados que tenham sido recolhidos anteriormente em ensaios que possam previamente ter sido realizados.

Tabela 3.9.– Valores de tempo e temperatura e estipulados na instrução da empresa antes do processo de validação, e valores de tempo e temperatura estipulados posteriormente à realização dos ensaios, para o túnel de congelação em espiral.

	Tempo (min) estipulado pela instrução da empresa	Tempo (min) estipulado pelo ensaio	T (°C) estipulada pela instrução da empresa	T (°C) estipulada através do ensaio
Hambúrguer de 80g a 120g	50	38	entre -19 e -25	entre -17 e -22
Hambúrguer de 160g a 200g	60	34	entre -19 e -25	entre -17 e -22
Bifanas finas extra ou similares	30	35	entre -17 e -21	entre -17 e -21

Segundo os valores estipulados pelo manual de instruções do equipamento *Frigoscandia Gyrocompact P42*, para um hambúrguer de 75 gramas, o tempo estimado para que este atingisse temperaturas de congelação, seria de 20 minutos. No entanto, a gramagem é inferior a qualquer outra tida em conta no ensaio (o que implica um aumento de tempo no processo de congelação). Tal como verificado por Park (2013) um aumento de gramagem significa que poderá ser necessário mais energia para retirar calor e, portanto, mais tempo para que se finalize o processo de congelação. Este facto pode explicar porque o tempo estipulado para a instrução da empresa

após o estudo é superior a 20 minutos. Além de se verificar uma gramagem inferior, também é estipulada uma velocidade de circulação da esteira. Esta velocidade pode ser ajustada, fazendo com que a circulação do produto no interior seja mais ou menos demorada.

No entanto, Mascheroni (2012) também indicou que é possível efetuar a correta congelação de um hambúrguer de 80 gramas e 10 mm de espessura, alterando a sua temperatura de 4°C para - 18°C, num período de 20 minutos, utilizando a mesma técnica. No ensaio realizado na empresa, foi obtido um valor de 30 minutos, superior ao valor referenciado. Esta diferença pode ter origem nas diferentes condições em que foi realizado o ensaio, já que as características do túnel são adaptadas às necessidades.

Segundo Park (2013), os produtos congelados utilizando esta técnica, necessitam permanecer entre 10 minutos a 2 horas, dependendo do seu tamanho, necessitando os produtos de mais tempo quanto maior a sua dimensão. Assim, os tempos determinados para os diversos produtos apresentados na tabela 3.9. encontram-se dentro do intervalo determinado pelo autor que, apesar de apresentar uma janela temporal alargada, demonstra que existe diferenças para o tempo de congelação, dependendo da gramagem congelada.

A temperatura do ar circulante nos processos de congelação é também um factor que pode influenciar o tempo necessário para que a congelação seja obtida. Segundo Barbin e Junior (2011), é considerado um dos fatores que mais é tido em conta em processos de congelação, sendo, a par com a velocidade do ar circulante, um dos que caracteriza a técnica de congelação como eficiente.

Quanto mais alta a temperatura, mais energia é necessária para a reduzir, sendo deste modo necessário mais tempo.

No estudo, verificou-se que a congelação de artigos de gramagem menor apresentam pontualmente valores de tempo maiores que hambúrgueres de maior gramagem (tabela 3.9). Este resultado pode ser explicado pelo facto das temperaturas de ar e do túnel para os hambúrgueres de menor gramagem (como o caso especificamente registado para os hambúrgueres de 100 gramas bovino), terem sido superiores aos valores obtidos para os hambúrgueres de 200 gramas bovino. Assim, compreende-se que as temperaturas do ar que se verificaram no estudo tiveram influência no processo de congelação.

Pode no entanto afirmar-se que os tempos estimados para os artigos de menor e de maior gramagem não apresentam diferenças significativa. Através da análise da tabela 3.9. é evidente a aproximação de tempos de congelação estimados para os diferentes gramagens. Desta forma, a ideia de se estabelecer um valor de tempo que englobe as diversas gramagens parece favorável, já que em termos de procedimento a nível industrial, praticar tempos constantes e estabelecer uma sistematização das temperaturas e tempos favorece a eficiência do processo.

A tabela 3.10. estabelece um tempo geral de congelação para todos os artigos que sejam congelados em túnel de congelação em espiral.

Tabela 3.10. – Tabela com valores de tempo e temperatura validados para o funcionamento do túnel em espiral.

	Tempo (min) médio determinado para os artigos congelados em túnel espiral	T (°C) estipulada
Hambúrguer de 80g a 120g	40	entre -17 e -22
Hambúrguer de 160g a 200g		
Bifanas finas extra		

Estabelecendo um teto máximo de temperatura, não existe uma necessidade premente que entre as diferentes gramagens, o túnel tenha que ser ajustado para um novo *set* de tempo. Relativamente à temperatura, uma vez que o túnel não permite o seu ajuste, os valores foram atualizados para valores realistas, estabelecendo um intervalo aceitável e atingível para o túnel utilizado na técnica de congelação.

Garantindo que os artigos permanecem durante 38 minutos no túnel de congelação, garante-se que qualquer artigo da gama apresentada efetua congelação. Através da implementação de um intervalo de temperatura entre os - 17°C e os - 22°C, e um tempo médio de 40 minutos (que difere 2 minutos relativamente ao maior valor de tempo para congelação, de forma a criar um intervalo de segurança para alguma eventualidade relativamente ao equipamento/processo de embalamento), é possível garantir, com segurança, a congelação correta de todo o leque de artigos congelados em túnel, permitindo que a temperatura atingida pelos mesmos no final possua um valor baixo o suficiente que permita o seu embalamento imediato e colocação em câmaras que garantam o seu armazenamento a temperaturas corretas. Face às características do túnel de congelação (temperaturas do ar entre - 17°C e - 22°C), foi possível deduzir que 40 minutos seria tempo suficiente para que todos os artigos da gama ultracongelada em túnel de espiral efetuassem congelação de forma correta (atingido - 18°C no seu centro térmico), não havendo necessidade de ajuste de temperaturas entre os diferentes artigos, já que não se verificou uma diferença significativa de temperatura com a variação da gramagem e do tipo de artigo congelado.

Os tempos e as temperaturas que se encontram apresentadas na tabela 3.10. foram aprovados pela empresa, tendo sido devidamente atualizados na sua instrução, validados e aplicados após a data de divulgação da mesma.

Desta forma, torna-se possível para a empresa efetuar a congelação em túnel espiral de forma mais eficiente, com uma poupança de gastos energéticos, e disponibilizando o tempo poupado na congelação na execução de outras tarefas (já que, reduzindo o tempo de funcionamento do túnel, reduz-se o tempo de espera, permitindo a agilização do embalamento e fecho de caixas por parte da operativa). De facto, nos hambúrgueres de menor gramagem há uma poupança de 10 minutos (verifica-se a redução do tempo de 50 para 40 minutos), e nos

hambúrgueres de maior gramagem há uma poupança de 20 minutos (verifica-se a redução do tempo de 60 para 40 minutos). Pelo contrário, nas bifanas, houve necessidade de aumentar o tempo de 30 para 40 minutos. No entanto, e uma vez que todos os produtos poderão ser congelados no mesmo período de tempo, a logística associada ao armazenamento e congelação será otimizada com benefícios a curto e médio prazo. A verificação dos tempos nas bifanas e nos hambúrgueres veio identificar oportunidades (mesmo tempo em todos os produtos), permitindo que os valores anteriores fossem alterados, otimizando a técnica.

A comparação com outros estudos semelhantes (e.g. Park, 2013), mostra que a variabilidade dos resultados obtidos é elevada. Por exemplo, segundo Castro (2017), o tempo necessário para congelação em túnel em espiral para hambúrgueres de frango foi de cerca de 70 minutos, muito superior ao valor obtido. Esta variabilidade está associada a diferenças associadas ao próprio equipamento, bem como à temperatura de circulação do ar no interior do túnel e à velocidade da esteira, entre outros factores. É, portanto, necessário efectuar a validação dos tempos para cada equipamento em particular.

Apesar de existirem de técnicas mais eficientes (como a congelação criogénica) para a congelação de produtos como os que são processados no túnel de congelação em espiral da empresa (nomeadamente hambúrgueres de diferentes gramagens), segundo Considine (2012), esta pode não ser a técnica mais adequada, uma vez que com esta técnica as células bacterianas podem não ser afectadas, nomeadamente em produtos de carne picada. É ainda necessário salvaguardar algumas condições que afetaram os estudos relativamente aos artigos congelados através do túnel em espiral:

- Não foi possível a monitorização da temperatura dos artigos no percurso efetuado pelos mesmos ao longo da cinta de congelação, uma vez que o túnel é fechado. Assim, as estimativas de decréscimo de temperatura basearam-se apenas nas conclusões retiradas da medição de temperatura do artigo na entrada e na saída do túnel.
- Uma vez congelados, não foi possível efetuar a medição de temperatura dos hambúrgueres através de uma sonda de perfuração. Deste modo, foi utilizado um termómetro por contacto (leitura por infravermelho), podendo este medir uma temperatura ligeiramente diferente do que a temperatura real verificada no centro térmico.

Assim, é possível enquadrar o processo desenvolvido como válido e otimizado para a gama de produtos comercializados. A tabela 3.11. apresenta os resultados que foram obtidos para os artigos congelados através do túnel por ar forçado.

Tabela 3.11. Tempo de permanência para congelação em túnel de ar forçado em função do tipo de artigo.

Artigo monitorizado	Janela de tempo estimada (horas)
Cubos de porco congelados	7 a 10 horas
Carne para picar congelada (caixas de 2-3kg)	12 a 14 horas
Carne para guisar (cubos) – novilho e bovino	12 a 14 horas

Os tempos estimados tiveram como base a leitura direta do gráfico, verificando-se o tempo necessário para que os artigos atingissem -12°C . Os casos foram apresentados individualmente já que, em cada um, diversas variáveis influenciaram o tempo de congelação, dificultando a realização de um valor médio que facilite a interpretação dos resultados.

Diversos fatores podem afetar o tempo de congelação de um artigo. Desta forma, os tempos estimados na tabela 3.11. resumem os tempos máximos e mínimos de congelação para os artigos aqui acompanhados, face às características do túnel (túnel na sua capacidade máxima e sem interrupções do processo de congelação).

Segundo Considine (2012), as desvantagens de túneis de congelação de ar forçado prendem-se com o facto deste demorar mais tempo para efetuar congelação que outros métodos (como os criogénicos), sendo ainda necessário garantir a existência de uma área significativa (geralmente ocupam bastante espaço, comparativamente com outras técnicas de congelação). É ainda necessário que este se encontre revestido por material isolante, de forma a que não haja perdas de temperatura para o exterior. Assim, os resultados obtidos vão de encontro ao esperado, ao demonstrar-se que o tempo dispendido na congelação destes artigos é superior a outras técnicas, como a comparada neste estudo (congelação por túnel em espiral).

De acordo com Jae (2013), é necessário garantir que o acondicionamento das estantes no interior do túnel é adequado. Assim, as estantes deverão ser preenchidas uniformemente, com um afastamento de caixas simétrico. Este cuidado faz com que o ar, ao circular pelas estantes, seja conduzido sem que o seu fluxo seja diminuído ou interrompido pelo aumento de entropia. Este fator afeta grandemente a velocidade do ar, comprometendo a velocidade de congelação, podendo, no caso analisado, ter contribuído em larga escala para os maiores tempos de congelação aqui estimados. Isto acontece porque, caso existam diferentes circuitos

para a circulação do ar, este siga o caminho onde existe menor resistência, criando um déficit no local onde existe maior resistência.

De acordo com Dempsey e Bansal (2012), o embalamento em cartão é um impedimento a que o produto congele de forma mais rápida. A figura 3.20. apresenta os resultados de comparação entre produtos congelados em caixas de cartão, e os mesmos produtos congelados sem caixa.

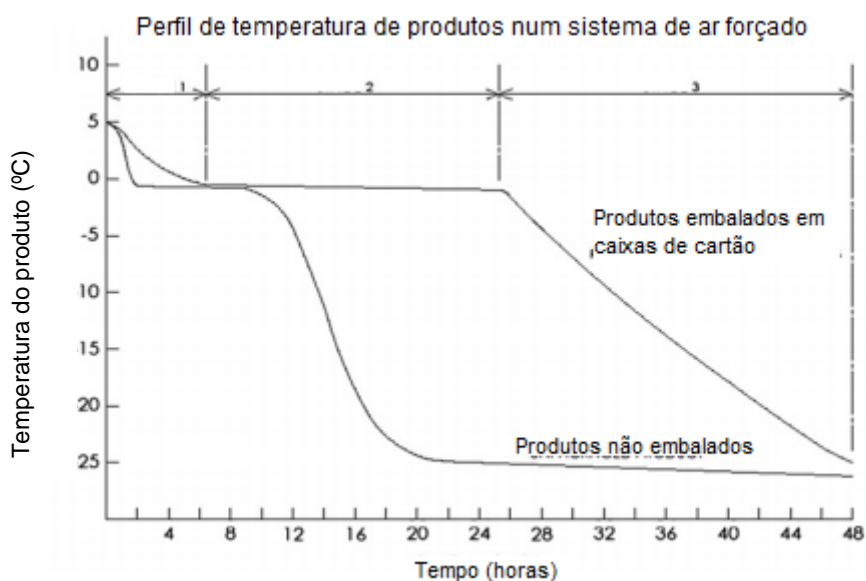


Figura 3.20. Curvas de congelação para produtos embalados em caixas de cartão e não embalados num túnel de congelação por ar forçado. (Fonte: Dempsey e Basal, 2012).

É comum o processo de congelação ser efetuado já depois do embalamento do produto. No entanto, a existência de um revestimento diminui a transferência de calor, e ocorre um aumento do tempo de congelação devido às propriedades isolantes do material da embalagem. Para a carne, a resistência à transferência de calor aumenta em 38% (Dempsey e Bansal, 2012). Tal poderia permitir, em estimativa, que o tempo de congelação fosse reduzido de 15 para 10 horas.

Desenvolvimentos tecnológicos recentes estão empenhados na utilização de congeladores de impacto com sistemas de ar duplos, que aumentam a distribuição do ar com a ajuda de CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Este sistema fornece informação acerca da circulação de ar, temperatura e distribuição do fluído, bem como dos fluxos de calor no interior do túnel, permitindo que haja melhoramento na circulação do ar, tornando os processos de congelação mais eficientes (Everington, 2001), sendo uma mais valia em termos de rentabilização de energia dispendida.

No que toca à implementação dos valores de tempo obtidos para o túnel de ar forçado, e havendo na empresa uma instrução que estabelece regras para a congelação de produtos que

não incluía ainda os aqui acompanhados, os mesmos estão em fase de implementação. Será necessário avaliar ainda a restante gama de produtos.

Assim, o ensaio permitiu a extensão dos artigos abrangidos pela instrução, trazendo uma clarificação acerca das necessidades particulares para cada um dos produtos congelados em túnel. Uma vez que a congelação em túnel é realizada de um dia para o outro, implicando que o túnel fique ligado por um período de 15 horas, será possível considerar que todos estes produtos, ao serem colocados no túnel em simultâneo, sairão com o processo de congelação efetuado. Assim, pode assegurar-se que toda a gama incluída no ensaio sofre congelação. Este estudo vem também contribuir para mais informação sobre tempos necessários à congelação, neste tipo de túnel, e alguns factores que podem afetar o tempo, uma vez que há muito poucos dados na literatura. Por outro lado, segundo Leitão (2015), o tempo de congelação vai depender de diversos fatores, incluindo estes a temperatura, o tamanho, o formato do produto e o formato da embalagem. Além do mais, é crucial ter em conta a natureza do produto a ser congelado, e a potência do aparelho, sendo possível obter intervalos de tempo entre minutos e horas, para a mesma técnica, dependendo do aparelho a ter em conta e do produto que se pretende congelar.

Uma possível solução para otimizar os tempos de congelação poderá passar pelo embalamento dos artigos após o processo, sendo necessário, porém, que a mesma seja testada previamente, uma vez que se encontram em causa circunstâncias que fogem ao âmbito dos ensaios aqui realizados.

O material utilizado na congelação em túnel de ar forçado pode ter elevada influência na sua taxa de congelação. Segundo a FAO, o material utilizado na congelação determina largamente a correta congelação do produto. Materiais revestidos por cartão podem levar até mais 3 horas de congelação que um produto em contacto com uma embalagem de alumínio, e até mais 7 horas do que um alimento que se encontre exposto e não apresente material de revestimento. Sugere-se assim que o material das embalagens para congelação em túnel (principalmente artigos de maior dimensão), seja colocado em superfícies metálicas, ou caixas plásticas.

Ainda segundo Santos *et al.* (2008), o cartão é responsável por oferecer uma grande resistência à transferência de calor. Uma alternativa melhor passa pela utilização de PMB (*perforated metal boxes*), ou caixas de metal perfuradas que, no estudo, mostraram facilitar o processo de congelação, reduzindo em 45% os tempos de congelação dos produtos. O método permite ainda uma distribuição de ar homogénea, tornando a temperatura dos produtos uniforme.

A diminuição da espessura do cartão poderá também constituir um aliado à congelação, diminuindo a resistência oferecida à circulação do ar e facilitando o processo de congelação (Dempsey e Bansal, 2012), bem como a dimensão da caixa onde o produto se encontra. Segundo Cleland (1996), caixas de maiores dimensões obstruem os canais de circulação de ar, o que provoca uma menor taxa de circulação, impedindo a congelação correta. Portanto, para aumentar a velocidade da congelação, pode ser considerada a opção de redução do tamanho das caixas. No entanto, serão necessários ensaios e estudos que permitam avaliar a viabilidade técnica e económica destas duas opções.

É ainda necessário salvaguardar condições que afetaram os estudos relativamente aos artigos congelados através do túnel por ar forçado, nomeadamente:

- A sonda, para os produtos embalados a vácuo, não pode ser colocada diretamente no seu centro térmico. No entanto, foi simulada o mais próximo possível do real, tendo a mesma sido coberta pela embalagem a vácuo, permitindo obter temperaturas próximas às simuladas no centro térmico do produto.

4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE MELHORIA

A congelação industrial é um processo complexo cujo sucesso depende da optimização de diversas variáveis, garantindo assim um melhor desempenho e uma maior rentabilização da energia dispendida no processo.

Nas empresas do setor alimentar, é crucial que os sistemas sejam otimizados, de forma a que os custos operacionais sejam reduzidos, e os processos de tornem mais eficientes. As validações constituem um aliado fundamental para esta otimização, uma vez que expõem os aspetos que podem ser melhorados e onde existe espaço para procurar uma constante melhoria dos sistemas que se encontram implementados.

No caso concreto apresentado neste trabalho, foi possível atualizar os valores de tempo e temperatura utilizados para a congelação de carne através da utilização de dois processos distintos. Enquanto no túnel em espiral foi possível reduzir os tempos de congelação dos artigos face ao anteriormente estipulado, criando-se uma janela que englobou todos os produtos sujeitos ao método, no túnel de ar forçado foi possível estipular parâmetros que anteriormente não se encontravam definidos, para uma gama de produtos.

O estudo permitiu ainda identificar um conjunto de recomendações logísticas, que têm como objetivo melhorar a eficiência dos processos de congelação.

Assim, deverão ser tidas em conta as seguintes situações:

- Tipo de embalamento/material utilizado na congelação: As embalagens causam um efeito isolante, fazendo com que o ar fique preso e não consiga circular, dificultando a circulação. Uma redução da espessura do cartão utilizado ou eliminação da embalagem facilitam o contacto com o ar, facilitando o processo de congelação. (Pham, 2008).
- Formato da acomodação do produto: A forma e a embalagem do produto podem ter elevada influência nos tempos de congelação, estando dependente da razão entre a área de superfície e o volume. Assim, aconselha-se que o produto seja distribuído o mais possível sobre a embalagem, e não sobre si mesmo, permitindo aumentar a área de contacto e diminuindo o volume. As caixas, entre si, deverão ainda garantir uma distância de aproximadamente 70 cm, para permitir que a velocidade do ar se mantenha entre as caixas (Dempsey e Bansal, 2012).
- Velocidade do ar circulante: A velocidade do ar circulante é um dos fatores mais importantes na congelação (Barbin e Junior, 2011). Quando maior a sua velocidade,

maior (até certo ponto de velocidade do ar) a velocidade de congelação. Assim, seria relevante aumentar a velocidade do ar que circula dentro do túnel de congelação por ar forçado, diminuindo o tempo necessário de permanência do produto no seu interior.

- Forma de circulação do ar: A temperatura do ar e a velocidade são os fatores mais considerados quando se fala em congelação. No entanto, é importante considerar de que forma o ar circula entre os produtos. A distribuição do produto afeta diretamente a eficiência do arrefecimento (Barbin e Junior, 2011). Segundo Dempsey e Bansal (2012), a forma como o produto se encontra distribuído no túnel afeta também a forma como o ar circula, sendo imperativa a sua organização de forma a facilitar a circulação no espaço livre. Desta forma, seria relevante a realização de um estudo em que fosse avaliado o impacto da organização do conteúdo do túnel no tempo de congelação dos artigos.

Deste modo, devem ser reavaliadas as seguintes situações, de forma a que seja possível otimizar e tirar o melhor partido possível da técnica, otimizando o binómio gasto/eficiência, de maneira a reduzir os consumos e permitir um melhor desempenho da técnica:

- Permitir o uso de caixas plásticas cobertas para alguns artigos, a partir de uma determinada dimensão. Uma vez que a massa tem influência na velocidade de congelação, e a carga (densidade) de artigos dentro da caixa dificulta o arrefecimento do artigo no seu centro térmico, a solução para a congelação eficiente de artigos de grandes dimensões passa pela utilização de materiais que mais facilmente permitam a congelação (como o plástico ou o alumínio). Nestes artigos, evitar as caixas de cartão seria uma mais valia, já que as perdas de temperatura associadas a esta técnica são menores.
- Impedir a abertura de portas durante o funcionamento do túnel. Uma vez que a diferença de temperatura entre o ar exterior e interior do túnel em funcionamento é elevada, abrir as portas contribui para que a troca de energia entre o ar interior e exterior influencie as perdas de temperatura no interior. A recuperação de temperaturas é lenta, o que impede a correta congelação dos produtos.
- Verificar com maior frequência a acumulação de gelo nos evaporadores. A obstrução dos evaporadores influencia grandemente o desempenho dos aparelhos, impedindo que o arrefecimento seja efetuado corretamente.
- Organizar o interior do túnel de forma a que as estantes se encontrem organizadas e dispostas de forma simétrica, bem como as caixas. Este facto vai permitir que a circulação do ar seja uniforme, não criando défices de circulação de ar.

Tendo em conta as sugestões de melhoria apresentadas, é possível otimizar a técnica, esperando-se que a consequência seja a redução de tempo de congelação, conduzindo a uma redução da energia gasta.

Sugere-se assim uma atualização do procedimento tomado relativamente ao túnel de congelação, de forma a que o ensaio verificado possa ser novamente repetido, e que se possa verificar a atualização dos tempos de congelação para a gama de produtos considerados.

Deste modo, pode concluir-se que as técnicas aplicadas e que estão a ser executadas pela empresa, em termos da congelação de artigos por túnel em espiral e congelação em túnel por ar forçado são válidas, podendo no entanto ser otimizadas através da aplicação das temperaturas e tempos estipuladas no estudo, de forma a aumentar o seu desempenho e a reduzir custos de operação e procedimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adesokan, H. K., Raji, A. (2014). *Safe meat-handling knowledge, attitudes and practices of private and government meat processing plants' workers: implications for future policy*. *Journal of preventive medicine and hygiene*, 55(1), 10p.
- Agoulon, A. (sem data). *Impacto dos parâmetros de congelação nas características dos alimentos*. http://www.gasin.com/~media/Files/PDF/microsites/freshthinking/PT_Agoulon-white-paper.pdf?la=pt-PT. Gasin (Grupo Air Products), consultado a 11 de novembro de 2018.
- Alaswad, M. B. (1989) *Science and Meat Technology*. Mosul University Press and Publication Company 2ª Ed, Ministry of Higher Education and scientific Research, Iraque.
- Almeida, J. C. D., Perassolo, M. S., Camargo, J. L., Bragagnolo, N., Gross, J. L. (2006) *Fatty acid composition and cholesterol content of beef and chicken meat in Southern Brazil*. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 42(1), pp. 109-117.
- Al-Sultan, I. I. A., Sabri, J. (2015). *Effects of bacterial contamination on meat decomposition*. *Journal of Advanced Biomedical & Pathobiology Research*, 5(1), pp. 9-22.
- Alum, E. A., Urom, S. M. O. C., Ben, C. M. A. (2016). *Microbiological contamination of food: the mechanisms, impacts and prevention*. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 5(3), pp. 65-78.
- AMSA (2015) *Composition of meat – Water, carbohydrates, minerals and vitamins* <http://www.meatscience.org/students/meat-judging-program/meat-judging-news/article/2015/07/31/composition-of-meat---water-carbohydrates-minerals-and-vitamins>, consultado a 21 de março de 2018.
- AVMA (American Veterinary Medical Association) (2008). *One Health Initiative Task Force. One Health: A new professional imperative*. (<https://www.avma.org/KB/Resources/Reference/Pages/One-Health.aspx>), consultada em 3 de fevereiro de 2018.
- Baptista, P. (2007) *Sistemas de segurança alimentar na cadeia de transporte e distribuição de produtos alimentares*. Guimarães: Forvisão-Consultoria em Formação Integrada, SA. 176p.
- Barbin, D. F., Neves Filho, L. C., Silveira Junior, V. (2009). *Freezing process evaluation using a portable forced air system with air evacuation and air blowing in pallets*. *Food Science and Technology*, Campinas, Brasil, 29(3), pp. 667-675.
- Barbin, D. F., Junior, V. S. (2011) *Comparison of the effects of air flow and product arrangement on freezing process by convective heat transfer coefficient measurement*. In: Belmiloudi, A. (Ed) *Heat Transfer-Theoretical Analysis, Experimental Investigations and Industrial Systems*. IRMAR, Viena, pp. 307-326.
- Bauman, H. E. (1995) *The origin and concept of HACCP*. In: HACCP in meat, poultry, and fish processing, Springer, Boston, Massachusetts, EUA, pp. 1-7.

- Bell, R. G. (1997). *Distribution and sources of microbial contamination on beef carcasses*. Journal of Applied Microbiology, 82(3), pp. 292-300.
- Berry, M., Fletcher J., McClure P., Wikinson J., (2008) *Effects of freezing on nutritional and microbiological properties of foods* In: Evans, J.A. (Ed.) *Frozen food science and technology*, Oxford, Inglaterra, pp. 1-25.
- Beulens, A. J., Broens, D. F., Folstar, P., Hofstede, G. J. (2005) *Food safety and transparency in food chains and networks Relationships and challenges*. Food control, 16(6), pp 481-486.
- Biesalski, H. K. (2005) *Meat as a component of a healthy diet—are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet?* Meat science, 70(3), pp. 509-524.
- Boles, J. A. (2010) *Thermal processing*. In: Toldrá, F. (Ed) *Handbook of Meat processing*. (cap. 8), John Wiley & Sons, Iowa, EUA, pp. 169-183.
- Borch, E., Kant-muemansh, M. L., Blixt, Y., (1996) *Bacterial spoilage of meat products and cured meat*. International Journal of Food Microbiology, 33(1), pp. 103-120.
- Brewer, S. (2010) *Technological quality of meat for processing*. In: Toldrá, F. (Ed.). *Handbook of meat processing*. John Wiley & Sons, Iowa, EUA, pp. 25-42.
- Breidenstein, B. C., Kinsman, D. M., Kotula, A. W. (2013) *Muscle Foods: Meat Poultry and Seafood Technology*. Springer Science & Business Media, Dordrecht, Holanda, 574p.
- Cairns, M. T. (2009) Genetic and genomic approaches to improving pork quality. In: Kerry J. (Ed), *Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat*. Woodhead Publishing, Cambridge, Inglaterra, pp. 225-248.
- Castro, D. M. G. D. (2017). *Acompanhamento de processos de congelação e de ultracongelação de produtos cárnicos*, Tese de mestrado, Universidade de Aveiro, 31 de julho de 2017 .
- Cerros E. U. (sem data), *Conservación de alimentos por frío*, Fiagro y Fusades Proinnova, (http://fusades.org/sites/default/files/investigaciones/manual_manejo_de_frio_para_la_conservacion_de_alimentos.pdf), consultado a 11 de novembro de 2018.
- Cheng, Q., Sun, D. W. (2008) *Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances*. Critical reviews in food science and nutrition, 48(2), pp. 137-159.
- Choffnes, E. R., Relman, D. A., Olsen, L., Hutton, R., Mack, A. (2012) *Improving food safety through a one health approach: workshop summary*. National Academies Press, Washington, EUA, 396p.
- Chow, C. K., Lobb, K. (2007) *Fatty acids classification and nomenclature*. In: Chow, C. K., (Ed.) *Fatty acids in food and their health implications*, CRC press, Boca Raton, Flórida, EUA, pp 1-15.
- Ciobanu, A. (1976). *Cooling technology in the food industry* (Vol. 11). CRC Press, Boca Raton, Flórida, EUA, 504p.
- Cleland, C. (1996). *Package design for refrigerated food: The need for multidisciplinary project teams*. Trends in Food Science & Technology, 7(8), pp. 269-271.
- Cobos, Á., Díaz, O. (2015) *Chemical Composition of Meat and Meat Products*. Handbook of Food Chemistry, 1-32.

- Colla, M., e Prentice-Hernández, C. (2003). *Congelamento e descongelamento—sua influência sobre os alimentos*, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, sem data.
- Considine, D. M. (2012). *Foods and food production encyclopedia*. Springer Science & Business Media, p. 2301.
- Cui, L., Decker, E. A. (2016). *Phospholipids in foods: prooxidants or antioxidants?*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 96(1), pp. 18-31.
- Dave, D., Ghaly, A. (2011) *Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: a critical review*. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 6(4), pp. 486-510.
- de Alcantara, M., de Moraes, I. C. L., de Matos, C., de Souza, O. D. C. C. (2012) *Principais Microrganismos envolvidos na deterioração das características sensoriais de derivados cárneos*. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal, 6(1), pp. 1-20.
- Decreto-Lei 207/2008 de 23 de outubro, que Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 147/2006, de 31 de Julho, que aprova o Regulamento das Condições Higiénicas e Técnicas a Observar na Distribuição e Venda de Carnes e Seus Produtos, revogando os Decretos-Leis n.os 402/84, de 31 de Dezembro, e 158/97, de 24 de Junho.
- Dempsey, P., Bansal, P. (2010). *Air blast freezers and their significance to food freezing: a review*. In: Proceedings of ENCIT 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering pp. 5-10.
- Dempsey, P., Bansal, P. (2012). *The art of air blast freezing: Design and efficiency considerations*. Applied Thermal Engineering, 41, pp. 71-83.
- Devine, C., Dikeman, M. (2014) *Encyclopedia of meat sciences* 2ª Ed, Elsevier, Londres, Inglaterra, 1712 p.
- Ejaz, N., Ejaz, W., Kim, H. S. (2012) *Meat and fish freshness inspection system based on odor sensing*. Sensors, 12(11), pp. 15542-15557.
- Escanciano, C., e Santos-Vijande, M. (2014) *Reasons and constraints to implementing an ISO 22000 food safety management system: Evidence from Spain*. Food Control, 40, pp 50-57.
- Everington, D. W. (2001). *Development of equipment for rapid freezing*. In *Rapid Cooling of food, Meeting of IIR Commission C* (Vol. 2) pp. 173-180.
- Evans, J. A. (2009). *Frozen food science and technology*. Blackwell Publishing, Oxford, Inglaterra, 365p.
- FAO (sem data), *Codex Alimentarius - international food standards*. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en> consultada em 3 de janeiro de 2018.

FAO (2015) *Composition of meat* http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_composition.html, consultado a 19 de fevereiro de 2018.

-
- FAO (sem data), *Freezing Time*, <http://www.fao.org/docrep/003/v3630e/v3630e06.htm#5.1%20Variables%20which%20affect%20freezing%20time>, consultado a 11 de novembro de 2018.
- Fernandez, J., Pérez-Álvarez J., Fernández-López J. (1997) *Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat*. Food Chemistry, 59(3), pp. 345-353.
- Autoridade da Irlanda para a Segurança Alimentar, *Guidance Note No. 18, Validation of Product Shelf-life*, p.56.
- Floros, J. D., Newsome, R., Fisher, W., Barbosa-Cánovas, G. V., Chen, H., Dunne, C. P., German, J.B., Hall, R. L., Heldman, D. R., Karwe, M. V., Knabel, S.J., Labuza, T. P., Lund, D.B., Newell-McGloughlin, M., Robinson, J.L., Sebranek, J.G., Shewfelt R.L., Tracy, W.F., Weaver, C.M., Ziegler, G.R. (2010) *Feeding the world today and tomorrow: the importance of food science and technology*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9(5), pp 572-599.
- Food Standards Agency (UK). <https://www.food.gov.uk/business-industry/> consultada em 3 de fevereiro de 2018.
- Frandsen R. D., Wilke W. L. and Fails A. D., (2009) *Anatomy and Physiology of Farm Animals*, 7ª Ed. Wiley-Blackwell, Iowa, EUA, 520p.
- Frankel E. N., (1980) *Lipid oxidation*. Progress in Lipid Research, 19(1-2), pp. 1-22.
- Frihat, M., Al-Zgoul, B., Radaedeh, J., Al-Rashdan, M., Al-Fraihat, A. (2012). *Estimation of food product freezing time*. Bul. Inst. Polit., Iasi, 58, pp. 39-47.
- FSIS (2013) *Water in meat and poultry*. https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/fsis/topics/food-safety-education/get-answers/food-safety-fact-sheets/meat-preparation/water-in-meat-and-poultry/ct_index, consultado em 20 de março de 2018.
- Galva A. J., da Silva, C. A. B., Frial, J.R.G. (2008) *Tecnologia dos alimentos – princípios e aplicações*, Nobel, São Paulo, Brasil, 513p.
- Geiges, O. (1996). Microbial processes in frozen food. *Advances in Space Research*, 18(12), pp. 109-118.
- Ghaly, A. E., Dave D., Budge S., Brooks M., (2010). *Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review*. American Journal of Applied Sciences, 7(7), pp. 846- 864.
- Godfray, H., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. e Toulmin, C. (2010) *Food security: the challenge of feeding 9 billion people*. science, 327(5967), pp 812-818.
- Golden, D. A., Arroyo-Galliyoun, L. (1997) *Relationship of frozen-food quality to microbial survival*. In: Erickson, M. C., Hung, Y., (eds) *Quality in frozen food*. Springer, Boston, Massachusetts, EUA, pp. 174-193.
- Gracey J.F., Collins D.S., Huey R.J. (1999) *Poultry production, slaughter and inspection*. In: Gracey J., Collins D.S., Huey R. (eds.). *Meat Hygiene*, 10ª Ed., W.B. Saunders Co. Ltd., Nova Iorque, EUA, 768p.
- Grunert, K. G. (2005) *Food quality and safety: consumer perception and demand*. European review of agricultural economics, 32(3), pp 369-391.
- Hanning, I. B., O'Bryan, C. A., Crandall, P. G. & Ricke, S. C. (2012) *Food Safety and Food Security*. Nature Education Knowledge 3(10):9.
-

- Henson, S., & Caswell, J. (1999) Food safety regulation: an overview of contemporary issues. *Food policy*, 24(6), pp 589-603.
- Hoffman J.R., Falvo M.J., (2004) *Protein – which is best?*, *J Sports Sci Med*, 3(3), pp. 118-130.
- Hui, Y. H., Legarretta, I. G., Lim, M. H., Murrell, K. D., Nip, W. K. (2004). *Handbook of frozen foods* (Vol. 133). CRC Press, 1293p.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S. M. (2005) *Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes*. *Meat science*, 71(1), pp. 194-204.
- Huskisson, E., Maggini, S., Ruf, M. (2007) *The role of vitamins and minerals in energy metabolism and well-being*. *Journal of international medical research*, 35(3), pp. 277-289.
- International Trade Centre, UNCTAD/WTO, *How to reduce food degradation with appropriate processing, transportation and packaging*, março de 2002.
- Jackson, L. S., Knize, M. G., Morgan, J. N. (Eds.). (2012) *Impact of processing on food safety* (Vol. 459). Springer Science & Business Media, Nova Iorque, EUA, 269p.
- James, S. J., e James, C. (2014). *Chilling and Freezing of Foods*. In: Clark, S., Jung S., Lamsal B., (2014) *Food Processing: Principles and Applications*, 2ªEd, Wiley Online Library, pp. 79-105.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., Golden, D. A. (2005). *Modern food microbiology* 7ª Ed, Springer Science+Business, EUA, 790p.
- Jay J. M., Vilai J. P., Hughes M.E. (2003) *Profile and activity of the bacterial biota of ground beef held from freshness to spoilage at 5-7 °C*. *International Journal Food Microbiology*, 81(2), pp. 105-111.
- Jensen, J., Rustad, P. I., Kolnes, A. J., Lai, Y. C. (2011) The role of skeletal muscle glycogen breakdown for regulation of insulin sensitivity by exercise. *Frontiers in physiology*, 2, 112p.
- Jeremiah, L.E. (1996) *Freezing effects on food quality*, 7ª Ed. Marcel Dekker, Nova Iorque, EUA, 520p.
- Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., Cofrades, S. (2001) *Healthier meat and meat products: their role as functional foods*. *Meat science*, 59(1), pp. 5-13.
- Kamenik, J. (2013) *The microbiology of meat spoilage: a review*. *Maso International. Journal of Food Science and Technology*. pp. 1-9.
- Kerry, J. (Ed.). (2009) *Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat*. Woodhead Publishing, Cambridge, Inglaterra, 663p.
- Kerth, C. R. (Ed.). (2013) *The science of meat quality*. John Wiley & Sons. 302p.
- Kozačinski, L., Bošković, A. G., Hengl, B., Njari, B. (2016) Food safety depending on the conditions of transport and storage. *Meso: prvi hrvatski časopis o mesu*, 18(6), pp 537-540.
- Kralik, G., Ivanković, S., Škrtić, Z. (2005) Fatty acids composition of poultry meat produced in indoor and outdoor rearing systems. *Poljoprivreda (Agriculture)*, 11, pp. 38-42.
- Lawrie R.A. e Ledward D.A., (2006) *Lawrie's meat science*. 7ª Ed. Woodhead Publishing, Cambridge, Inglaterra, 464p.
- Leitão, B. M. R., Equipamentos de congelação industrial de produtos alimentares perecíveis: análise comparada de apoio à decisão, Mestrado em engenharia mecânica, Instituto superior de engenharia de Lisboa, ISEL, fevereiro de 2015.

- Leygonie, C., Britz, T. J., Hoffman, L. C. (2012) *Impact of freezing and thawing on the quality of meat*. Meat science, 91(2), pp. 93-98.
- Linares, M.B., Berruga M.I., Bornezv R., Vergara H., (2007) *Lipid oxidation in lamb meat: Effect of the weight, handling previous slaughter and modified atmospheres*. Meat Science, 76(4), pp. 715-720.
- Lino, G. e Lino T. (2014) *Congelamento e refrigeração*, Tese de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sem data.
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., Bugeon, J. (2016). *How muscle structure and composition influence meat and flesh quality*. The Scientific World Journal.
- Loader, R., Hobbs, J. E. (1999) *Strategic responses to food safety legislation*. Food policy, 24(6), pp. 685-706.
- Lombardi-Boccia, G., Lanzi, S., Aguzzi, A. (2005) *Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats*. Journal of food Composition and Analysis, 18(1), pp. 39-46.
- Malagie, M., Jensen, G., Graham, J. C., Smith, D. L. (1998) Food industry processes. Encyclopedia of occupational health and safety, 67, pp 2-7.
- Mallett, C. P. (1993). *Frozen food technology*. Springer Science & Business Media, EUA, 339p.
- Mannapperuma, J. D., Singh, R. P., Reid, D. S. (1994). Effective surface heat transfer coefficients encountered in air blast freezing of whole chicken and chicken parts, individually and in packages. *International journal of refrigeration*, 17(4), 263-272.
- Mantilla, S., Mano, B., de Carvalho Vital, H., Franco, M. (2010). *Atmosfera modificada na conservação de alimentos*. Revista Acadêmica: Ciência Animal, 8(4), pp. 437-448.
- Marshall, D.L., Bal'a, M.F.A. (2001) *Microbiology of Meats*. In: Hui Y.H., Nip W.K., Rogers R.W., Young O.A. (ed.) Meat Science and Application, Marcel Dekker Inc., Nova Iorque, EUA, 710p.
- Mascheroni, R. H. (2012). *Operations in food refrigeration*. 1ª Ed. CRC Press, Boca Raton, Flórida, EUA, 402p.
- Mortimore, S., & Wallace, C. (2013) *HACCP: A practical approach*. Springer Science & Business Media. 474p.
- National Research Council. (2010) *The Food Safety System: Context and Current Status* In: Enhancing food safety: The role of the Food and Drug Administration. National Academies Press, pp 35-72.
- Nestle, M. (2013) *Food politics: How the food industry influences nutrition and health* (Vol. 3) University of California Press.
- Nevsadbá, P. (2008) *Thermal properties and ice crystal development in frozen foods*, In: Evans, J.A. (Ed.) Frozen food science and technology, Oxford, Inglaterra, pp. 1-25.
- NP EN ISO 22000 (2005) Sistemas de gestão da segurança alimentar. Requisitos para qualquer organização que opere na cadeia alimentar. Lisboa: Instituto Português da Qualidade. 10p.
- Park, J. W. (2013). *Surimi and surimi seafood*, 3ª Ed, CRC press, Boca Raton, Flórida, EUA, p. 666.

- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., Hopkins, D. L. (2011) *Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—A review*. Meat Science, 89(2), pp. 111-124.
- Pearson, A. M., Young, R. B. (ed.) (1989) *Muscle and meat biochemistry*. Academic Press, Califórnia, EUA, 468 p.
- Pearson, A. M., Tauber, F. W. (1984) *Composition and nutritive value of raw materials and processed meats*. In: Pearson A. M., Gillet, T. A. (ed.) *Processed meats*. Springer, Boston, Massachussets, EUA, pp. 18-45.
- Pereira, D. (2011). *Importância da Cadeia de Frio na Segurança Alimentar de Produtos Congelados e Refrigerados*. Tese de mestrado. Escola Superior Agrária de Coimbra, sem data.
- Suleimenova, A. (2016) Biochemical and sensory profile of meat from dairy and beef cattle, Tese de mestrado, University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, 5 de novembro de 2016.
- Pham, Q. (2008). *Advances in food freezing/thawing/freezing concentration modelling and techniques*. Japan Journal of Food Engineering, 9(1), pp. 21-32.
- Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., e Cleland, D. J. (2008). *Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality*. Journal of Food Engineering, 84(1), pp. 48-56.
- Pires JRA, Souza VGL, Fernando AL (2018) Chitosan/montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary and ginger essential oil as packaging for fresh poultry meat, Food Packaging and Shelf Life, 17, 142-149, doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.06.011.
- Rahman, M. S. (2007). *Handbook of food preservation*. 2ª Ed. CRC press, Boca Raton, Flórida, EUA, 1088p.
- Rahman, M. S. (2009). *Food properties handbook*. 2ª Ed. CRC press, Boca Raton, Flórida, EUA, 859p.
- Rawat, S. (2015) Food Spoilage: *Microorganisms and their prevention*. Asian Journal of Plant Science and Research, 5(4), pp. 47-56.
- Recordati, G. (2015) *The food industry: history, evolution and current trends*. 106p.
- Reid, D. (1999). *Factors which influence the freezing process an examination of new insights*. 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney.
- Reid, D. e Perez-Albela Saettone, L. (2006). *The effect of average storage temperature, and temperature fluctuation on the rate of moisture migration in a model frozen food*. In: 13th World Congress of Food Science & Technology, 151p.
- Robertson, A., Tirado, C., Lobstein, T., Jermini, M., Knai, C., Jensen, J. H., e James, W. P. (2004). *Food and health in Europe: a new basis for action*. WHO regional publications. European series, (96), pp i-xvi.
- Rodezno, L. A. E., Sundararajan, S., Solval, K. M., Chotiko, A., Li, J., Zhang, Bankston, J. D., J., Sathivel, S. (2013). *Cryogenic and air blast freezing techniques and their effect on the quality of catfish fillets*. LWT-Food Science and Technology, 54(2), pp. 377-382.

- Suman, S. P., Joseph, P. (2013) *Myoglobin chemistry and meat color*. Annual review of food science and technology, 4, pp. 79-99.
- Sofos, J. N. (2008) *Challenges to meat safety in the 21st century*. Meat science, 78(1-2), pp. 3-13.
- Silva, J. A., Patarata, L., Martins, C., (1999) *Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing*. Meat Science, 52(4), pp. 453-459.
- Suleimenova, A. (2016) *Biochemical and sensory profile of meat from dairy and beef cattle*, Tese de mestrado, University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, 5 de novembro de 2016.
- Simitzis, P.E., Deligeorgis, S.G., (2010) *Lipid oxidation of meat and use of essential oils as antioxidants in meat products*
- Serraino A., Bardasi L., Riu R., Pizzamiglio V., Liuzzo G., Galletti G., Giacometti F., Merialdi G. (2012) *Visual evaluation of cattle cleanliness and correlation to carcass microbial contamination during slaughtering*. Meat Science 90(2), pp. 502-506.
- Singh, R. P., Heldman, D. R. (2001). *Introduction to food engineering*. Elsevier Academic Press, San Diego, California, EUA, 767p.
- Saravacos, G. D., Kostaropoulos, A. E. (2002). *Handbook of food processing equipment*. Kluwer Academic/Plenum, Nova Iorque, EUA, 698p.
- Souza VGL, Fernando AL, Pires JRA, Rodrigues PF, Lopes AAS, Braz-Fernandes FM (2017) Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants, Industrial Crops and Products, 107, 565-572. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.04.056.
- Souza, VGL, Fernando AL (2016) Nanoparticles in food packaging: Biodegradability and potential migration to food—A review, Food Packaging and Shelf Life, 8, 63-70, doi:10.1016/j.fpsl.2016.04.001.
- Souza VGL, Pires JRA, Rodrigues PF, Lopes AAS, Braz-Fernandes FM, Duarte MP, Coelho IM, Fernando AL (2018a) Bionanocomposites of chitosan/montmorillonite incorporated with Rosmarinus officinalis essential oil: Development and physical characterization, Food Packaging and Shelf Life, 16, 148-156, doi: 10.1016/j.fpsl.2018.03.009.
- Souza VGL, Pires JRA, Vieira ET, Coelho IM, Duarte MP, Fernando AL (2018b) Shelf life assessment of fresh poultry meat packaged in novel bionanocomposite of chitosan/montmorillonite incorporated with ginger essential oil, Coatings, 8 (5), 177, doi:10.3390/coatings8050177.
- Souza VGL, Rodrigues PF, Duarte MP, Fernando AL (2018c) Antioxidant Migration Studies in Chitosan Films Incorporated with Plant Extracts, Journal of Renewable Materials, 6 (5), 548-558. doi: 10.7569/JRM.2018.634104.
- Souza VGL, Pires JRA, Vieira ET, Coelho IM, Duarte MP, Fernando AL (2019) Activity of chitosan-montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary essential oil: from in vitro assays to application in fresh poultry meat, Food Hydrocolloids, 89, 241–252, doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.049.

- Souza VGLS, Ribeiro-Santos R, Rodrigues PF, Otoni CG, Duarte MP, Coelho IM, Fernando AL (2018d) Nanomaterial Migration from Composites into Food Matrices. In: Cirillo G, Kozlowski MA, Spizzirri UG (eds.) *Composites Materials for Food Packaging*, Scrivener Publishing LLC, Wiley, 462 p., pp. 401–436 (ISBN 978-1-119-16020-5).
- Speck, M. L., Ray, B. (1977). *Effects of freezing and storage on microorganisms in frozen foods: a review. Journal of Food Protection*, 40(5), pp. 333-336.
- Subramaniam, P., Wareing, P. (Eds.). (2016). *The stability and shelf life of food*. Woodhead Publishing, Duxford, Inglaterra, 590p.
- Sun, D. W. (2011). *Handbook of frozen food processing and packaging*, 2ª Ed., CRC Press, Boca Raton, Flórida, EUA, 936p.
- Toldrá, F. (Ed.). (2010) *Handbook of meat processing*. John Wiley & Sons, Iowa, EUA, 565p.
- Traber, M. G., Atkinson, J. (2007) *Vitamin E, antioxidant and nothing more*. *Free Radical Biology and Medicine*, 43(1), pp. 4-15.
- Trienekens, J., e Zuurbier, P. (2008) *Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges*. *International Journal of Production Economics*, 113(1), pp 107-122.
- Tessari, P., Lante, A., Mosca, G. (2016) *Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint?*. *Scientific reports*, 6:26074, 13p.
- Valentas, K. J., Rotstein, E., Singh, R. P. (1997). *Handbook of food engineering practice*. CRC press, Nova Iorque, EUA, 719p.
- Van Laack, R. L. (1999) *The role of proteins in water-holding capacity of meat*. In: Xiong Y. L., Chi-Tang H., Shaidi F., (eds) *Quality attributes of muscle foods*. Springer, Boston, Massachusetts, EUA, pp. 309-318.
- Van Schothorst, M. (2005) *Microorganisms in food 6: Microbial ecology of food commodities*, International Commission on Microbiological Specifications for Food, 2ª Ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nova Iorque, EUA, 764p.
- Vapnek, J., Spreij, M. (2005) *Perspectives and Guidelines on Food Legislation: With a new model food law* (Vol. 87). Food & Agriculture Org., Roma, Itália, 268p.
- Widmaier E. P., Raff H., Strang K. T., Vander A. J., (2003) *Vander, Sherman, Luciano's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*, 9ª Ed. McGraw-Hill, Nova Iorque, EUA, 825p.
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes S. I., Zakhariev, T., Ibrishimov, N., Monov, G. (1980) *Amino acid makeup of beef*. *Veterinarno-meditinski nauki*, 17(8), pp. 31-35.